

TENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF THE RECORDING
OF A CHANGE(PCT Rule 92bis.1 and
Administrative Instructions, Section 422)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

LAND, Addick Adrianus Gosling
Arnold & Siedsma
Sweelinckplein 1
NL-2517 GK The Hague
PAYS-BAS

Date of mailing (day/month/year) 16 October 2000 (16.10.00)	IMPORTANT NOTIFICATION
Applicant's or agent's file reference C PH/vdyck/2P	
International application No. PCT/BE99/00076	International filing date (day/month/year) 14 June 1999 (14.06.99)

1. The following indications appeared on record concerning:		
<input type="checkbox"/> the applicant	<input type="checkbox"/> the inventor	<input checked="" type="checkbox"/> the agent
<input type="checkbox"/> the common representative		
Name and Address LAND, Addick Adrianus Gosling Arnold & Siedsma 39 Avenue de la Faisanderie B-1150 Brussel Belgium	State of Nationality	State of Residence
	Telephone No. 32 2 779 44 82	
	Facsimile No. 32 2 779 44 84	
	Teleprinter No.	
2. The International Bureau hereby notifies the applicant that the following change has been recorded concerning:		
<input type="checkbox"/> the person	<input type="checkbox"/> the name	<input checked="" type="checkbox"/> the address
<input type="checkbox"/> the nationality		
<input type="checkbox"/> the residence		
Name and Address LAND, Addick Adrianus Gosling Arnold & Siedsma Sweelinckplein 1 NL-2517 GK The Hague Netherlands	State of Nationality	State of Residence
	Telephone No. 31 70 365 4833	
	Facsimile No. 31 70 345 2140	
	Teleprinter No.	
3. Further observations, if necessary:		
4. A copy of this notification has been sent to:		
<input checked="" type="checkbox"/> the receiving Office	<input type="checkbox"/> the designated Offices concerned	
<input type="checkbox"/> the International Searching Authority	<input checked="" type="checkbox"/> the elected Offices concerned	
<input checked="" type="checkbox"/> the International Preliminary Examining Authority	<input type="checkbox"/> other:	

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland	Authorized officer Sean Taylor
Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Telephone No.: (41-22) 338.83.38

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

Assistant Commissioner for Patents
 United States Patent and Trademark
 Office
 Box PCT
 Washington, D.C.20231
 ETATS-UNIS D'AMERIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year) 24 August 2000 (24.08.00)	
International application No. PCT/BE99/00076	Applicant's or agent's file reference C PH/vdyck/2P
International filing date (day/month/year) 14 June 1999 (14.06.99)	Priority date (day/month/year) 16 June 1998 (16.06.98)
Applicant VAN DYCK, Dirk, Ernst, Maria et al	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:

11 January 2000 (11.01.00)

☐ in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:2. The election ☒ was☐ was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Authorized officer Olivia RANAIVOJAONA Telephone No.: (41-22) 338.83.38
--	--

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)


Applicant's or agent's file reference C PH/VM81/2p	FOR FURTHER ACTION		See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)
International application No. PCT/BE99/00076	International filing date (day/month/year) 14/06/1999	Priority date (day/month/year) 16/06/1998	
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC H01J37/302			
Applicant VAN DYCK, Dirk, Ernst, Maria et al.			

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 5 sheets, including this cover sheet.
 - ☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e. sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 4 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:
 - I ☒ Basis of the report
 - II ☐ Priority
 - III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
 - IV ☐ Lack of unity of invention
 - V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
 - VI ☐ Certain documents cited
 - VII ☒ Certain defects in the international application
 - VIII ☒ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 11/01/2000	Date of completion of this report 24.11.2000
Name and mailing address of the international preliminary examining authority:  European Patent Office D-80298 Munich Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Authorized officer Van den Berg, G Telephone No. +49 89 2399 2499



**INTERNATIONAL PRELIMINARY
EXAMINATION REPORT**

International application No. PCT/BE99/00076

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of *(substitute sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments (Rules 70.16 and 70.17).)*:

Description, pages:

1-12 as originally filed

Claims, No.:

1-18 as received on 30/10/2000 with letter of 30/10/2000

Drawings, sheets:

1/4-4/4 as originally filed

2. With regard to the **language**, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language: , which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of the international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages:
- ☐ the claims, Nos.:

**INTERNATIONAL PRELIMINARY
EXAMINATION REPORT**

International application No. PCT/BE99/00076

☐ the drawings, sheets:

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed (Rule 70.2(c)):

(Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.)

6. Additional observations, if necessary:

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Yes:	Claims	1 - 18
	No:	Claims	none
Inventive step (IS)	Yes:	Claims	1 - 18
	No:	Claims	none
Industrial applicability (IA)	Yes:	Claims	1 - 18
	No:	Claims	none

2. Citations and explanations
see separate sheet

VII. Certain defects in the international application

The following defects in the form or contents of the international application have been noted:
see separate sheet

VIII. Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:
see separate sheet

**INTERNATIONAL PRELIMINARY
EXAMINATION REPORT - SEPARATE SHEET**

International application No. PCT/BE99/00076

To point V:

Micro- and Nano -Engineering 97. MNE International Conference on Micro- and Nanofabrication", Athens, Greece, September 1997, published in Microelectronic Engineering, vol. 41-42, pages 195 - 198, March 1998 relates to proximity effects correction for electron beam lithography processes by means of an artificial neural network. The presence of a coating on a substrate is considered implicit (cf. "Introduction"). The document further teaches the training of a neural network by inputting a training pattern and an associated exposure, establishing initial weights of the neural network, and determining with the neural network the exposure required to obtain a desired pattern (cf. page 197: "Proximity neurocorrector"; Figure 4).

1. (Novelty) Neither the disclosure of this document nor that of the other (even more remote) documents cited in the international search report is prejudicial to the novelty of the subject-matter of claims 1 - 18. In particular, no method is disclosed which allows for predicting the dose of each pattern point of a desired pattern using a regularisation parameter and a smearing function (claim 1). The subject-matter of claims 1 - 18 would therefore meet the requirement of Article 33(2) PCT.
2. (Inventive step) The subject-matter of claims 1 - 18 does not seem to be suggested by the disclosure of any of the documents cited in the international search report nor by a combination thereof. There is no incentive for steps of determining the smearing function and the precompensated pattern in the way claimed (claim 1). The subject-matter of claims 1 - 18 would therefore meet the requirement of Article 33(3) PCT.
3. (Industrial applicability) The subject-matter of claims 1 - 18 meets the requirement of Article 33(4) PCT.

To point VII:

A document reflecting the prior art described on pages 1 and 7 is not identified in the description (Rule 5.1(a)(ii) PCT).

**INTERNATIONAL PRELIMINARY
EXAMINATION REPORT - SEPARATE SHEET**

International application No. PCT/BE99/00076

To point VIII:

The present application does not meet the requirement of Article 6 PCT:

Claim 17 is not clear in view of the back references to claims 1 - 6 which do not relate to the inputting of any pattern into a neural network. Furthermore, claim 17 mentions a neural network with weighting factors determined as claimed in any of the foregoing claims. It does however not become apparent what weighting factors are meant because weighting factors are not identified in the foregoing claims.

The features of the claims are not provided with reference signs placed in parentheses (Rule 6.2(b) PCT).

PCT

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

(PCT Article 18 and Rules 43 and 44)

Applicant's or agent's file reference C PH/vdyck/2P	FOR FURTHER ACTION see Notification of Transmittal of International Search Report (Form PCT/ISA/220) as well as, where applicable, item 5 below.	
International application No. PCT/BE 99/ 00076	International filing date (day/month/year) 14/06/1999	(Earliest) Priority Date (day/month/year) 16/06/1998
Applicant VAN DYCK, Dirk, Ernst, Maria et al.		

This International Search Report has been prepared by this International Searching Authority and is transmitted to the applicant according to Article 18. A copy is being transmitted to the International Bureau.

This International Search Report consists of a total of 3 sheets.
☒ It is also accompanied by a copy of each prior art document cited in this report.

1. Basis of the report

- a. With regard to the **language**, the international search was carried out on the basis of the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.

☐ the international search was carried out on the basis of a translation of the international application furnished to this Authority (Rule 23.1(b)).

- b. With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, the international search was carried out on the basis of the sequence listing :

☐ contained in the international application in written form.

☐ filed together with the international application in computer readable form.

☐ furnished subsequently to this Authority in written form.

☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.

☐ the statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.

☐ the statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished

2. ☐ **Certain claims were found unsearchable** (See Box I).

3. ☐ **Unity of invention is lacking** (see Box II).

4. With regard to the **title**,

☒ the text is approved as submitted by the applicant.

☐ the text has been established by this Authority to read as follows:

5. With regard to the **abstract**,

☒ the text is approved as submitted by the applicant.

☐ the text has been established, according to Rule 38.2(b), by this Authority as it appears in Box III. The applicant may, within one month from the date of mailing of this international search report, submit comments to this Authority.

6. The figure of the **drawings** to be published with the abstract is Figure No.

☐ as suggested by the applicant.

☐ because the applicant failed to suggest a figure.

☐ because this figure better characterizes the invention.

☒ None of the figures.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/BE 99/00076

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01J37/302

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JEDRASIK P ET AL: "Optimal filtering versus regularization methods in the Fourier precompensation based proximity neurocorrection in electron beam lithography"	1,2,7,19
	MICRO- AND NANO- ENGINEERING 97. MNE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO- AND NANOFABRICATION, ATHENS, GREECE, 15-18 SEPT. 1997, vol. 41-42, pages 195-198, XP004111700 ISSN 0167-9317, Microelectronic Engineering, March 1998, Elsevier, Netherlands	
X	page 195, right-hand column, line 1 -page 196, right-hand column, line 4 page 197, left-hand column, paragraph 2 -page 198, right-hand column, last line --- -/--	18



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 October 1999

Date of mailing of the international search report

14/10/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/BE 99/00076

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JEDRASIK P: "Neural networks application for fast, direct correction kernel generation for proximity effects correction in electron beam lithography" MICRO- AND NANOENGINEERING 94. INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO- AND NANOFABRICATION, DAVOS, SWITZERLAND, 26-29 SEPT. 1994, vol. 27, no. 1-4, pages 191-194, XP004025063 ISSN 0167-9317, Microelectronic Engineering, Feb. 1995, Netherlands the whole document ---	1,18
A	EP 0 443 249 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 28 August 1991 (1991-08-28) the whole document ---	1,18
A	FRYE R C: "ADAPTIVE NEURAL NETWORK ALGORITHMS FOR COMPUTING PROXIMITY EFFECT CORRECTIONS" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART B, vol. 9, no. 6, 1 November 1991 (1991-11-01), pages 3054-3058, XP000268519 the whole document -----	1,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/BE 99/00076

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0443249 A	28-08-1991	DE 69030078 D	10-04-1997
		DE 69030078 T	07-08-1997
		JP 6097057 A	08-04-1994
		US 5283746 A	01-02-1994
<hr/>			

RECORD COPY

REQUEST

The undersigned requests that the present international application be processed according to the Patent Cooperation Treaty.

Receiving Office use only

PCT/RO/99/00076
International Application No.

14 JUN 1999 (14-06-1999)
International Filing Date

RO/BE - INTERNATIONAL APPLICATION

Name of receiving Office and "PCT International Application"

Applicant's or agent's file reference C PH/vdyck/2p
(if desired) (12 characters maximum)

Box No. I TITLE OF INVENTION

Method and device for correcting of the proximity effects

Box No. II APPLICANT

Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)

VAN DYCK, Dirk Ernst Maria
Kleine Grippe 37
B-2630 AARTSELAAR
~~BELGIE~~ ** BELGIUM *

☒ This person is also inventor.

Telephone No.

Facsimile No.

Teleprinter No.

State (that is, country) of nationality:

~~BELGIUM~~ ** BE *

State (that is, country) of residence:

~~BELGIUM~~ ** BE *

This person is applicant for the purposes of:



all designated States



all designated States except the United States of America



the United States of America only



the States indicated in the Supplemental Box

Box No. III FURTHER APPLICANT(S) AND/OR (FURTHER) INVENTOR(S)

Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country. The country of the address indicated in this Box is the applicant's State (that is, country) of residence if no State of residence is indicated below.)

JEDRASIK, Piotr Tomasz
Universitair Centrum Antwerpen
Universiteit van Antwerpen
Departement Natuurkunde
Groenerborgerlaan 171
B-2020 ANTWERPEN BELGIUM

This person is:

☐ applicant only

☒ applicant and inventor

☐ inventor only (If this check-box is marked, do not fill in below.)

State (that is, country) of nationality:

~~BELGIUM~~ ** BE *

State (that is, country) of residence:

~~BELGIUM~~ ** BE *

This person is applicant for the purposes of:



all designated States



all designated States except the United States of America



the United States of America only



the States indicated in the Supplemental Box

☐ Further applicants and/or (further) inventors are indicated on a continuation sheet.

Box No. IV AGENT OR COMMON REPRESENTATIVE; OR ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

The person identified below is hereby/has been appointed to act on behalf of the applicant(s) before the competent International Authorities as:



agent



common representative

Name and address: (Family name followed by given name; for a legal entity, full official designation. The address must include postal code and name of country.)

LAND, Addick Adrianus Gosling
ARNOLD & SIEDSMA
39, Avenue de la Faisanderie
B-1150 BRUSSEL
BELGIUM

Telephone No.

+ 32 2 779 44 82

Facsimile No.

+32 2 779 44 84

Teleprinter No.

--

☐ Address for correspondence: Mark this check-box where no agent or common representative is/has been appointed and the space above is used instead to indicate a special address to which correspondence should be sent.

Box No.V DESIGNATION OF STATES

The following designations are made under Rule 4.9(a) (mark the applicable check-boxes; at least one must be marked):

Regional Patent

- ☒ AP ARIPO Patent: GH Ghana, GM Gambia, KE Kenya, LS Lesotho, MW Malawi, SD Sudan, SZ Swaziland, UG Uganda, ZW Zimbabwe, and any other State which is a Contracting State of the Harare Protocol and of the PCT
- ☒ EA Eurasian Patent: AM Armenia, AZ Azerbaijan, BY Belarus, KG Kyrgyzstan, KZ Kazakhstan, MD Republic of Moldova, RU Russian Federation, TJ Tajikistan, TM Turkmenistan, and any other State which is a Contracting State of the Eurasian Patent Convention and of the PCT
- ☒ EP European Patent: AT Austria, BE Belgium, CH and LI Switzerland and Liechtenstein, CY Cyprus, DE Germany, DK Denmark, ES Spain, FI Finland, FR France, GB United Kingdom, GR Greece, IE Ireland, IT Italy, LU Luxembourg, MC Monaco, NL Netherlands, PT Portugal, SE Sweden, and any other State which is a Contracting State of the European Patent Convention and of the PCT
- ☒ OA OAPI Patent: BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Central African Republic, CG Congo, CI Côte d'Ivoire, CM Cameroon, GA Gabon, GN Guinea, GW Guinea-Bissau, ML Mali, MR Mauritania, NE Niger, SN Senegal, TD Chad, TG Togo, and any other State which is a member State of OAPI and a Contracting State of the PCT (if other kind of protection or treatment desired, specify on dotted line)

National Patent (if other kind of protection or treatment desired, specify on dotted line):

- | | |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> AL Albania | <input checked="" type="checkbox"/> LS Lesotho |
| <input checked="" type="checkbox"/> AM Armenia | <input checked="" type="checkbox"/> LT Lithuania |
| <input checked="" type="checkbox"/> AT Austria | <input checked="" type="checkbox"/> LU Luxembourg |
| <input checked="" type="checkbox"/> AU Australia | <input checked="" type="checkbox"/> LV Latvia |
| <input checked="" type="checkbox"/> AZ Azerbaijan | <input checked="" type="checkbox"/> MD Republic of Moldova |
| <input checked="" type="checkbox"/> BA Bosnia and Herzegovina | <input checked="" type="checkbox"/> MG Madagascar |
| <input checked="" type="checkbox"/> BB Barbados | <input checked="" type="checkbox"/> MK The former Yugoslav Republic of Macedonia |
| <input checked="" type="checkbox"/> BG Bulgaria | |
| <input checked="" type="checkbox"/> BR Brazil | <input checked="" type="checkbox"/> MN Mongolia |
| <input checked="" type="checkbox"/> BY Belarus | <input checked="" type="checkbox"/> MW Malawi |
| <input checked="" type="checkbox"/> CA Canada | <input checked="" type="checkbox"/> MX Mexico |
| <input checked="" type="checkbox"/> CH and LI Switzerland and Liechtenstein | <input checked="" type="checkbox"/> NO Norway |
| <input checked="" type="checkbox"/> CN China | <input checked="" type="checkbox"/> NZ New Zealand |
| <input checked="" type="checkbox"/> CU Cuba | <input checked="" type="checkbox"/> PL Poland |
| <input checked="" type="checkbox"/> CZ Czech Republic | <input checked="" type="checkbox"/> PT Portugal |
| <input checked="" type="checkbox"/> DE Germany | <input checked="" type="checkbox"/> RO Romania |
| <input checked="" type="checkbox"/> DK Denmark | <input checked="" type="checkbox"/> RU Russian Federation |
| <input checked="" type="checkbox"/> EE Estonia | <input checked="" type="checkbox"/> SD Sudan |
| <input checked="" type="checkbox"/> ES Spain | <input checked="" type="checkbox"/> SE Sweden |
| <input checked="" type="checkbox"/> FI Finland | <input checked="" type="checkbox"/> SG Singapore |
| <input checked="" type="checkbox"/> GB United Kingdom | <input checked="" type="checkbox"/> SI Slovenia |
| <input checked="" type="checkbox"/> GD Grenada | <input checked="" type="checkbox"/> SK Slovakia |
| <input checked="" type="checkbox"/> GE Georgia | <input checked="" type="checkbox"/> SL Sierra Leone |
| <input checked="" type="checkbox"/> GH Ghana | <input checked="" type="checkbox"/> TJ Tajikistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> GM Gambia | <input checked="" type="checkbox"/> TM Turkmenistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> HR Croatia | <input checked="" type="checkbox"/> TR Turkey |
| <input checked="" type="checkbox"/> HU Hungary | <input checked="" type="checkbox"/> TT Trinidad and Tobago |
| <input checked="" type="checkbox"/> ID Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> UA Ukraine |
| <input checked="" type="checkbox"/> IL Israel | <input checked="" type="checkbox"/> UG Uganda |
| <input checked="" type="checkbox"/> IN India | <input checked="" type="checkbox"/> US United States of America |
| <input checked="" type="checkbox"/> IS Iceland | |
| <input checked="" type="checkbox"/> JP Japan | <input checked="" type="checkbox"/> UZ Uzbekistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> KE Kenya | <input checked="" type="checkbox"/> VN Viet Nam |
| <input checked="" type="checkbox"/> KG Kyrgyzstan | <input checked="" type="checkbox"/> YU Yugoslavia |
| <input checked="" type="checkbox"/> KP Democratic People's Republic of Korea | <input checked="" type="checkbox"/> ZW Zimbabwe |
| <input checked="" type="checkbox"/> KR Republic of Korea | |
| <input checked="" type="checkbox"/> KZ Kazakhstan | |
| <input checked="" type="checkbox"/> LC Saint Lucia | |
| <input checked="" type="checkbox"/> LK Sri Lanka | |
| <input checked="" type="checkbox"/> LR Liberia | |

Check-boxes reserved for designating States (for the purposes of a national patent) which have become party to the PCT after issuance of this sheet:

- ☐
- ☐
- ☐

Precautionary Designation Statement: In addition to the designations made above, the applicant also makes under Rule 4.9(b) all other designations which would be permitted under the PCT except any designation(s) indicated in the Supplemental Box as being excluded from the scope of this statement. The applicant declares that those additional designations are subject to confirmation and that any designation which is not confirmed before the expiration of 15 months from the priority date is to be regarded as withdrawn by the applicant at the expiration of that time limit. (Confirmation of a designation consists of the filing of a notice specifying that designation and the payment of the designation and confirmation fees. Confirmation must reach the receiving Office within the 15-month time limit.)

PCT/RO/101/00070

Box No. VI PRIORITY AIM		<input type="checkbox"/> Further priority claims are indicated in the Supplemental Box.		
Filing date of earlier application (day/month/year)	Number of earlier application	Where earlier application is:		
		national application: country	regional application: regional Office	international application: receiving Office
item (1) 16 June 1998 (16-06-1998)	1009422	The Netherlands		
item (2) 13 October 1998 (13-10-1998)	1010311	The Netherlands		
item (3)				

☐ The receiving Office is requested to prepare and transmit to the International Bureau a certified copy of the earlier application(s) (only if the earlier application was filed with the Office which for the purposes of the present international application is the receiving Office) identified above as item(s):

* Where the earlier application is an ARIPO application, it is mandatory to indicate in the Supplemental Box at least one country party to the Paris Convention for the Protection of Industrial Property for which that earlier application was filed (Rule 4.10(b)(ii)). See Supplemental Box.

Box No. VII INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

Choice of International Searching Authority (ISA) (if two or more International Searching Authorities are competent to carry out the international search, indicate the Authority chosen; the two-letter code may be used):	Request to use results of earlier search; reference to that search (if an earlier search has been carried out by or requested from the International Searching Authority):		
ISA / EPO	Date (day/month/year)	Number	Country (or regional Office)
	13 October 1999	1010311	The Netherlands

Box No. VIII CHECK LIST; LANGUAGE OF FILING

This international application contains the following number of sheets: request : 3 description (excluding sequence listing part) : 13 claims : 4 abstract : 1 drawings : 4 sequence listing part of description : Total number of sheets : 25	This international application is accompanied by the item(s) marked below: 1. <input checked="" type="checkbox"/> fee calculation sheet 2. <input type="checkbox"/> separate signed power of attorney 3. <input type="checkbox"/> copy of general power of attorney; reference number, if any: 4. <input type="checkbox"/> statement explaining lack of signature 5. <input type="checkbox"/> priority document(s) identified in Box No. VI as item(s): 6. <input type="checkbox"/> translation of international application into (language): 7. <input type="checkbox"/> separate indications concerning deposited microorganism or other biological material 8. <input type="checkbox"/> nucleotide and/or amino acid sequence listing in computer readable form 9. <input type="checkbox"/> other (specify):
Figure of the drawings which should accompany the abstract:	Language of filing of the international application: Dutch

Box No. IX SIGNATURE OF APPLICANT OR AGENT

Next to each signature, indicate the name of the person signing and the capacity in which the person signs (if such capacity is not obvious from reading the request).

The Agent,

LAND, Addick Adrianus Gosling

For receiving Office use only		2. Drawings: <input checked="" type="checkbox"/> received: <input type="checkbox"/> not received:
1. Date of actual receipt of the purported international application:	14 JUN 1999 (14-06-1999)	
3. Corrected date of actual receipt due to later but timely received papers or drawings completing the purported international application:		
4. Date of timely receipt of the required corrections under PCT Article 11(2):		
5. International Searching Authority (if two or more are competent): ISA /	6. <input type="checkbox"/> Transmittal of search copy delayed until search fee is paid.	

For International Bureau use only	
Date of receipt of the record copy by the International Bureau:	13 JULY 1999 (13.07.99)

1/4

FIG. 1

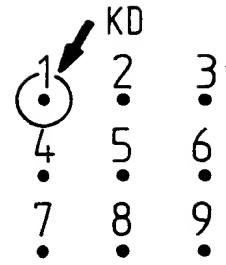
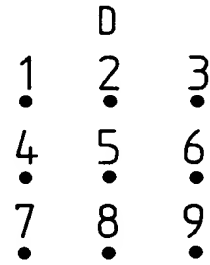
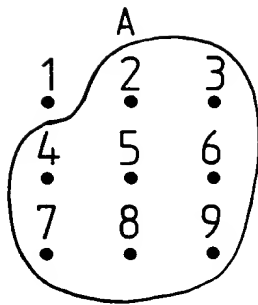
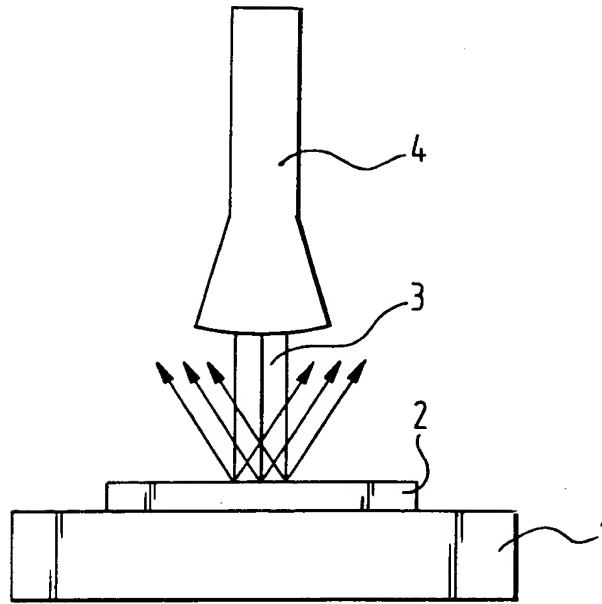


FIG. 2a

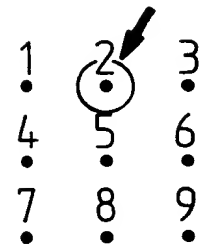
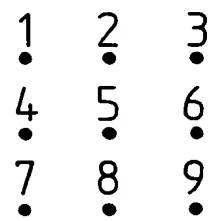
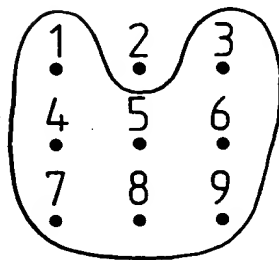


FIG. 2b

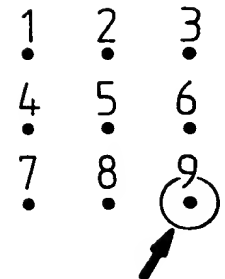
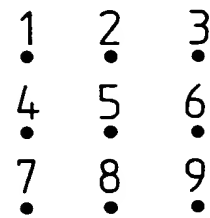
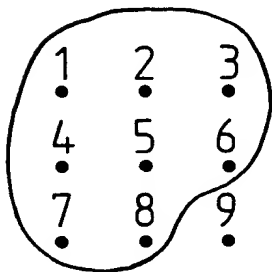
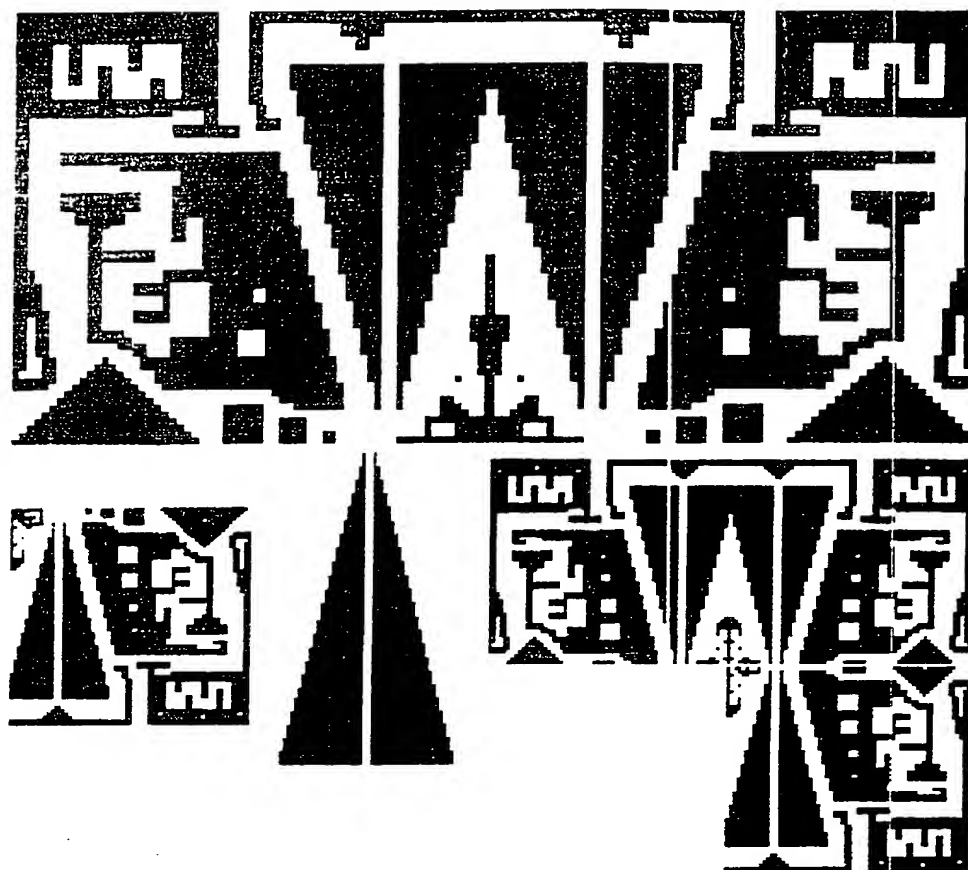
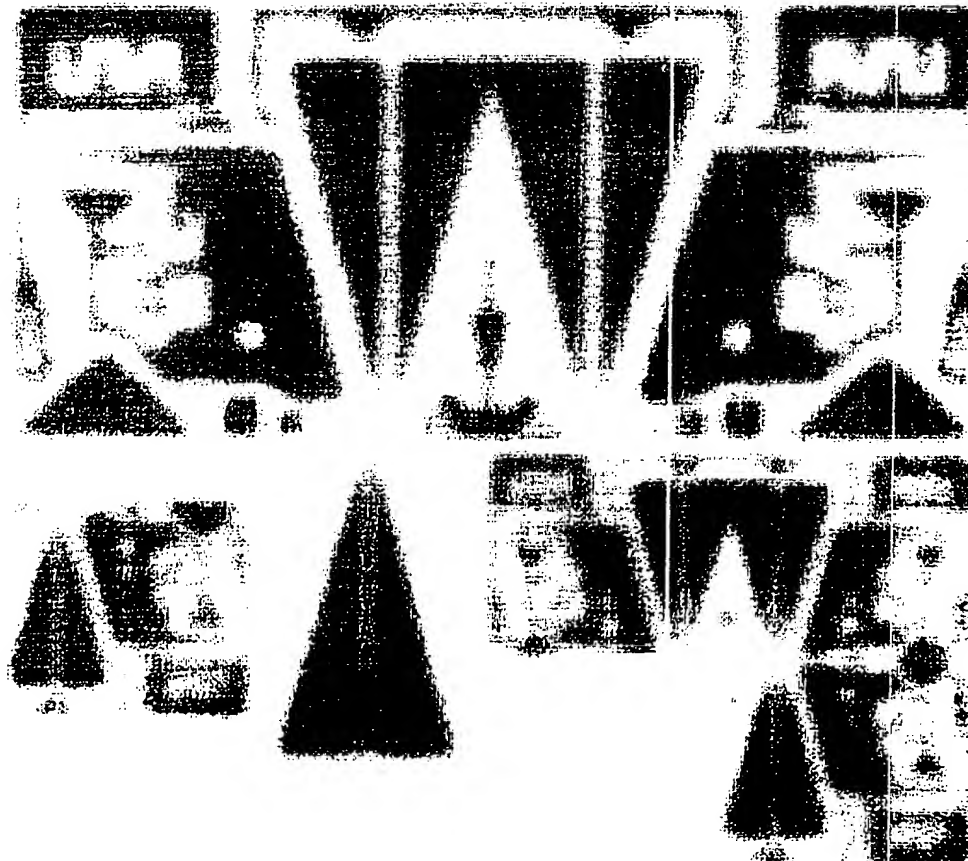
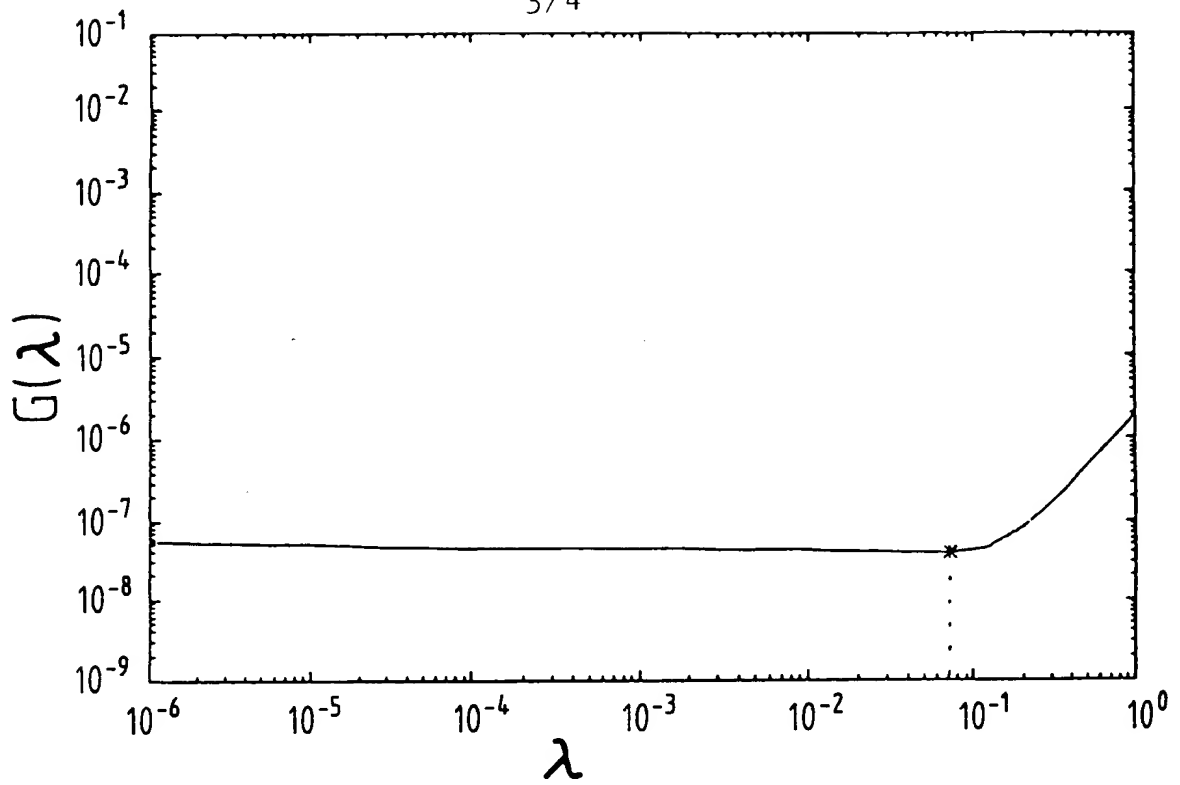
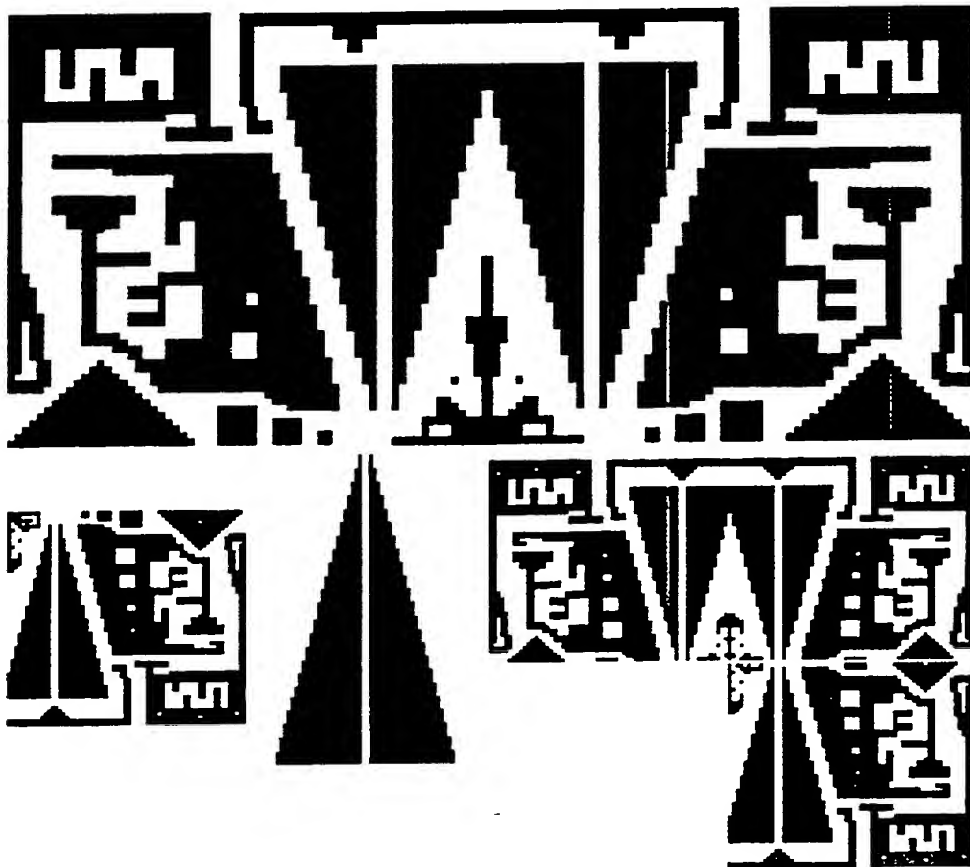
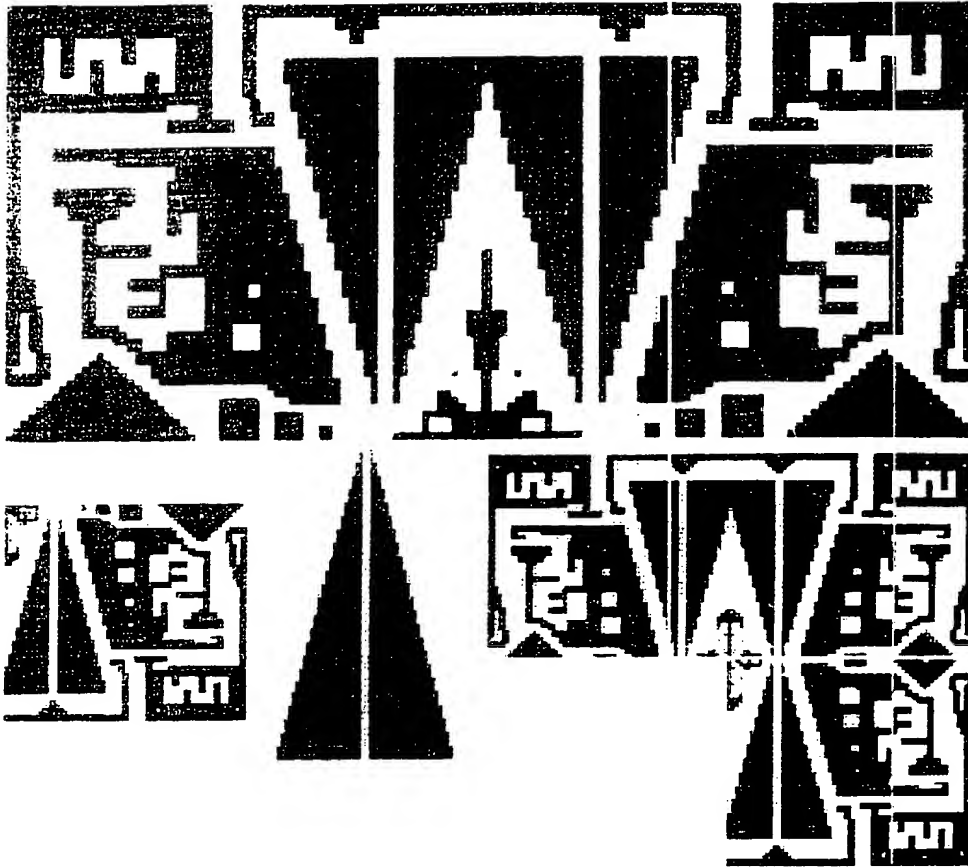
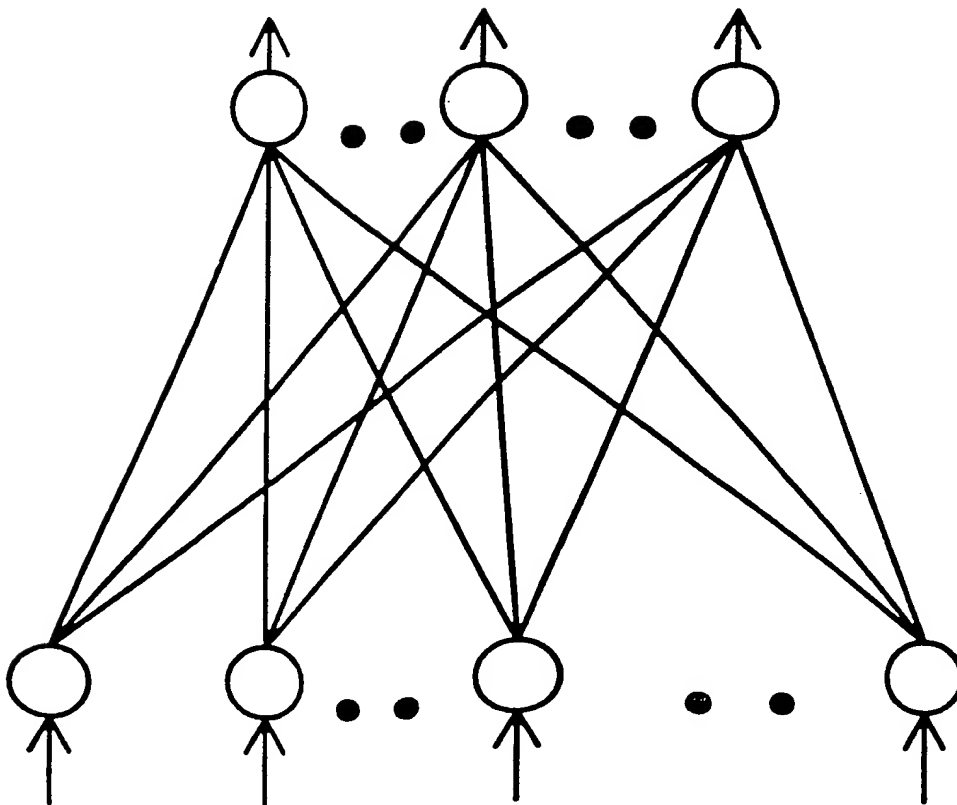


FIG. 2c

FIG. 3FIG. 4

3/4

FIG. 5FIG. 6

FIG. 7FIG. 8

WERKWIJZE EN INRICHTING VOOR HET CORRIGEREN VAN NABIJHEIDSEFFECTEN

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een werkwijze en inrichting voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdo-
5 sis van een elektronenbundel.

Bij het vervaardigen van de nieuwste generaties van geïntegreerde schakelingen wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van gefocusseerde elektronenbundels in lithografische processen in plaats van gebruik te maken van de
10 gebruikelijke optische lithografie-technieken, aangezien deze laatste technieken beperkingen met betrekking tot resolutie als gevolg van diffractie van het gebruikte laserlicht ondervinden. De resolutie van de geïntegreerde schakeling die verkregen wordt met een dergelijke elek-
15 tronenbundellithografie is groter, doch wordt beperkt door verstrooiing van de elektronen in de deklaag. Er zijn werkwijzen bekend van het minimaliseren van verstrooiingseffecten of van het vooraf hiervoor compenseren en het daardoor verbeteren van de resolutie van de ver-
20 kregen geïntegreerde schakelingen.

De bekende werkwijzen hebben echter als bezwaar dat verstrooiingseffecten zelf slechts in beperkte mate te minimaliseren zijn, terwijl een compensatie vooraf volgens de bekende werkwijze veel berekeningen vergt en
25 derhalve een lange berekeningstijd nodig heeft. Voor het vervaardigen van geïntegreerde schakelingen dient bijvoorbeeld een zeer groot aantal patroonpunten, vaak in de orde van grootte van 10^{10} patroonpunten, "geschreven" te worden, terwijl het aantal hiervoor benodigde bereke-
30 ningen een veelvoud daarvan bedraagt. Hierdoor is een nagenoeg onvertraagde ("real time") precompensatie voor de versmeringseffecten niet uitvoerbaar.

Het doel van de onderhavige uitvinding is dit bezwaar te ondervangen en tevens aanvullende voordelen te verschaffen.

De onderhavige uitvinding heeft derhalve betrekking op een werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigd geprecompenseerd patroon van blootstellingsdoses van een elektronenbundel, omvattende:

10 - het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;

 - het met de versmeringsfunctie en het gewenst patroon bepalen van het geprecompenseerde patroon, waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de
15 blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden bevatten en dat de blootstellingsdoses ten opzichte van elkaar ten minste in enige mate glad zijn.

Aangezien een negatieve waarde voor de blootstellingsdosis van een elektronenbundel geen fysische
20 betekenis heeft en derhalve niet realiseerbaar is, wordt de bepaling van de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon zodanig uitgevoerd dat deze (vrijwel) uitsluitend positieve waarden aannemen. Bovendien wordt een gladde oplossing verkregen aangezien hevige oscillaties in de versmeringsfunctie geen fysische grondslag
25 hebben, doch slechts veroorzaakt worden door mathematische instabiliteit van de berekeningen.

In een voorkeursuitvoeringsvorm van de uitvinding omvat de werkwijze de stappen:

30 a) het schatten van een regularisatie parameter;

 b) het met alle patroonpunten van het gewenst patroon behalve een bepaald patroonpunt bepalen van een geprecompenseerd patroon;

35 c) het met de versmeringsfunctie opnieuw versmeren van het geprecompenseerd patroon voor het voorspellen van de dosis van het bepaalde patroonpunt;

d) het voor elk patroonpunt herhalen van stappen b en c;

e) het herhalen van stappen a tot en met d met aangepaste regularisatie parameter totdat een eindwaarde van een regularisatie parameter bereikt is;

f) het bepalen van het geprecompenseerde patroon met de eindwaarde van de regularisatie parameter.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding omvat stap b) de volgende iteratieve bepaling:

10

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$

waarbij a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm is, K^* de hermitisch geconjugeerde van de versmeringsfunctie K is, B een operator, en λ een regularisatieparameter.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is operator B als volgt gedefinieerd:

20

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

waarin de sommatie plaatsvindt over alle patroonpunten, d_i het i^e element van de vector d is, en d_{tot} de sommatie over alle elementen van de vector d voorstelt.

25

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is in bovengenoemde stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de regularisatie parameter waarbij

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [K d_k(\lambda)]_k)^2$$

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, en K de versmeringsfunctie in matrix-
5 vorm is.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is in stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de regularisatie parameter waarbij

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

10 waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm en w_{kk} gedefinieerd is als:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

15 met a_{kk} de elementen van de matrix

$A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$ en L de discrete Laplace-transformatie, minimaal is.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding worden na stap e) de stap uitgevoerd van het
20 trainen van een neurale netwerk met behulp van één of meer gewenste eerste patronen en de daarbij behorende geprecompenseerde patronen.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is met het getrainde neurale netwerk het
25 geprecompenseerde patroon behorend bij een tweede gewenst patroon te bepalen, waarbij in een verdere uitvoeringsvorm het eerste gewenste patroon een relatief eenvoudig trainingspatroon is en het tweede gewenste patroon het deelpatroon van een geïntegreerde schakeling is en waar-
30 bij in een verdere uitvoeringsvorm twee of meer deelpa-

tronen tot een samengesteld patroon van de geïntegreerde schakeling te combineren zijn.

Door een bekend eerste gewenst patroon, dat bij voorkeur eenvoudig is, het bijbehorende geprecompenseerde
5 patroon van blootstellingsdosis te bepalen en vervolgens het verband tussen de weegfactoren van een neurale netwerk vast te leggen, wordt verzekerd dat voor een tweede gewenst patroon, dat gecompliceerder kan zijn, het verkrijgen van het verband tussen dit patroon en de daarbij
10 behorende blootstellingsdosis op zeer efficiënte en snelle wijze door het neurale netwerk wordt bepaald. Het eerste patroon is een over het algemeen relatief eenvoudig trainingspatroon, terwijl het tweede patroon, bijvoorbeeld het patroon van een zeer gecompliceerde,
15 geïntegreerde schakeling is.

In een voorkeursvorm van de uitvinding is het bovengenoemde neurale netwerk in hardware geïmplementeerd, waardoor het bepalen van het verband tussen een patroon en de daardoor bijbehorende blootstellingsdosis
20 op snellere wijze wordt bepaald, bij voorkeur binnen 60 ns voor elk patroonpunt en voor een patroon van 10^{10} binnen de 10 minuten.

Volgens een voorkeursvorm van de uitvinding is de versmeringsfunctie opgebouwd uit ten minste twee
25 Gaussische functies, waaraan eventueel een exponentiële functie is toegevoegd. Parameters van de Gaussische functies en eventueel de exponentiële functie zijn te bepalen door middel van statistische simulatie van het systeem van elektronenbundelzendapparatuur en de betreffende
30 deklaag en ondergrond van de te vervaardigen geïntegreerde schakeling.

In een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding worden parameters bepaald door metingen te verrichten aan het systeem van elektronenbundelzendapparatuur en de
35 betreffende deklaag met ondergrond.

De onderhavige uitvinding heeft tevens betrekking op een inrichting voor het bepalen van de voor het verkrijgen van een gewenst patroon in een deklaag op een

ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdo-
sis van een elektronenbundel, omvattende een elektro-
nische schakeling voor het implementeren van het bovenge-
noemde neurale netwerk met weegfactoren die op de boven-
5 genoemde wijze zijn bepaald.

De uitvinding zal hierna aan de hand van een
voorkeursuitvoeringsvorm daarvan verduidelijkt worden,
waarbij gebruik wordt gemaakt van de bijgevoegde teke-
ningen, waarin:

- 10 - figuur 1 een schematisch overzicht is van een
voorkeursvorm van een inrichting volgens de uitvinding;
- figuren 2a-2c een schematische overzicht
geven van de bepaling van een geprecompenseerde patroon
van 3x3 patroonpunten;
- 15 - figuur 3 een gewenst trainingspatroon van
256x256 patroonpunten weergeeft;
- figuur 4 het trainingspatroon van figuur 3 na
versmering weergeeft;
- figuur 5 een grafiek weergeeft waarin voor
20 het trainingspatroon van figuur 3 de voorspellingsfout
als functie van de gekozen regularisatieparameter is
uitgezet;
- figuur 6 het trainingspatroon van figuur 3 na
precompensatie weergeeft;
- 25 - figuur 7 het geprecompenseerde patroon van
figuur 6 na versmering weergeeft; en
- figuur 8 een schematische voorstelling van
een neurale netwerk voor de bepaling van geprecompenseer-
de patronen weergeeft.
- 30 In een opstelling van apparatuur voor het
zenden van een elektronenbundel en een te behandelen
ondergrond 1 met deklaag 2 wordt een bundel elektronen 3
gericht op een positie of patroonpunt van een deklaag 2
op een ondergrond 1. De interactie van de invallende
35 elektronenstraal 3 met de deklaag of resistfilm 2 en de
onderlaag of het substraat 1 heeft een verstrooiing van
de elektronen in de deklaag 2 tot gevolg hetgeen versme-
rings- ofwel nabijheidseffecten veroorzaakt. Wanneer

bijvoorbeeld een primair elektron de deklaag binnen-
dringt, wordt een deel van zijn energie overgebracht op
elektronen van de atomen van de deklaag, hetgeen ioni-
satie of excitatie daarvan veroorzaakt. Een botsing
5 tussen elektronen met een grote overdracht van energie
genereert een secundair elektron, dat in het algemeen een
verplaatsingsrichting loodrecht op die van een primair
elektron heeft.

Meer in het algemeen hebben versmeringseffecten
10 in elektronenbundellithografie betrekking op het proces
waardoor de resolutie van het blootgestelde patroon
verlaagd wordt door primaire elektronenverstrooiing
(forward scattering) en secundaire elektronopwekking
(backward scattering) in de deklaag en de ondergrond van
15 een te vervaardigen geïntegreerde schakeling. Scherpe
kenmerken zoals hoeken in het gewenste patroon worden
afgerond, lijndiktes en tussenruimtes worden aangepast en
in bepaalde extreme gevallen verdwijnen zelfs sommige
kenmerken geheel of worden zij op incorrecte wijze samen-
20 gevoegd met naastliggende kenmerken.

De versmeringseffecten of nabijheidseffecten
zijn te beschrijven door een versmeringsfunctie, die het
verband weergeeft tussen enerzijds de blootstellingsdoses
van een bepaald patroonpunt van een te vervaardigen
25 patroon in de deklaag en anderzijds de door dit patroon-
punt en door naburige patroonpunten daadwerkelijk geab-
sorbeerde doses. Het effect van de versmering wordt der-
halve vastgelegd in de versmeringsfunctie.

Ervan uitgaande dat de blootstelling en versme-
30 ring lineair en spatieel invariant zijn en dat voor een
numerieke oplossing een discrete representatie de voor-
keur heeft kan het bovenstaande als volgt in matrixvorm
tot uiting worden gebracht: $A = KD$, waarin A een kolom-
vector is waarvan elk element a_i de totale energiedosis is
35 die daadwerkelijk in het bijbehorende patroonpunt is
geabsorbeerd, K een versmeringsmatrix is waarvan elk mn -
de element het gedeelte van de energiedosis is dat geab-
sorbeerd is in patroonpunt m vanaf een eenheidsbloot-

stellingsdosis die wordt geleverd aan patroonpunt n , en D een kolomvector is die is opgebouwd uit elementen d_i die de blootstellingsdoses representeren die per patroonpunt door de elektronenbundelapparatuur wordt afgegeven.

5 Aangezien het versmeringseffect onvermijdelijk is, is het zaak om de blootstellingsdoses d_i van de verschillende patroonpunten zodanig aan te passen dat de daadwerkelijk in een patroonpunt geabsorbeerde dosis a_i zodanig is dat toch het gewenste patroon verkregen wordt.

10 Deze zogenoemde precompensatie van de blootstellingsdosis van de elektronenbundel kan volgens de huidige stand van de techniek worden uitgevoerd door bepaling van de inverse van de versmeringsmatrix K . Er zijn vele manieren om een matrix in het algemeen te
15 inverteren. Deze manieren houden vaak echter geen rekening met fysieke beperkingen, zoals in dit geval bijvoorbeeld die van de elektronenbundelzendapparatuur. Zo zijn er bijvoorbeeld geen negatieve blootstellingsdoses mogelijk. Bovendien is een bezwaar van dergelijke inversiemethodes dat de geïnverteerde matrix veel oscillaties
20 vertoont. Bovendien dient voor inversie van de versmeringsmatrix voor een deelpatroon van bijvoorbeeld 256×256 patroonpunten al de inversie van een versmeringsmatrix met dimensies van 65536×65536 berekend te worden, hetgeen
25 een enorme hoeveelheid rekentijd vergt.

 In figuren 2a t/m 2c is een gewenst patroon (A) weergegeven. Het patroon is opgebouwd uit een 9-tal patroonpunten a_i waarbij i varieert van 1 tot 9. Dit gewenst patroon dient geprecompenseerd te worden teneinde
30 na blootstelling aan de versmerende elektronenbundel het gewenste patroon te kunnen verschaffen, dat wil zeggen dat de waarden van d_i , met i variërend van 1 tot 9, bepaald dienen te worden.

 Allereerst wordt het geprecompenseerde patroon
35 bepaald gebruik makend van de doses a_i met i van 2 tot 9, waarbij derhalve patroonpunt 1 buiten beschouwing wordt gelaten (figuur 2a). Dit geprecompenseerde patroon wordt bepaald aan de hand van de volgende uitdrukking:

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - Kd^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$

waarbij a een vector met als elementen de doses van het
gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses
5 van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunc-
tie in matrixvorm is, K^* de hermitisch geconjugeerde van
de versmeringsfunctie K is, B een operator is, en λ een
regularisatieparameter is. De waarde van de regularisa-
tieparameter kan willekeurig gekozen worden, in dit geval
10 bijvoorbeeld $\lambda = 0$.

De operator B legt een beperking op en kan als
volgt gedefinieerd worden:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

15 waarin de sommatie plaatsvindt over alle patroonpunten, d_i
het i^e element van de vector d is, en d_{tot} de sommatie over
alle elementen van de vector d voorstelt.

Het aldus bepaalde geprecompenseerde patroon
wordt vervolgens aan de hand van de bekende versmerings-
20 functie opnieuw versmeerd, waarmee de voorspelde dosis Kd
van patroonpunt 1 wordt bepaald.

Vervolgens wordt de bovenstaande procedure
achtereenvolgend herhaald (figuren 2b en 2c) voor het
tweede tot en met negende patroonpunt ($i=2, \dots, 9$), waarbij
25 telkens alle patroonpunten met uitzondering van één
patroonpunt gebruikt worden.

Aan de hand van de bovenstaande resultaten
wordt de kleinste kwadraten voorspellingsfout over alle
patroonpunten bepaald, hetgeen later nader zal worden
30 verklaard.

Vervolgens wordt de bovenstaande procedure
herhaald met andere waarden voor de regularisatiepara-
meter λ , bijvoorbeeld $\lambda_2 = 0,001$, $\lambda = 0,002$, etc. Gekozen

wordt uiteindelijk de regularisatieparameter waarbij de kleinste kwadraten voorspellingsfout over alle patroonpunten minimaal is. Deze regularisatieparameter wordt dan gekozen als de optimale regularisatieparameter λ_{opt} . Aan de hand van deze optimale regularisatieparameter λ_{opt} wordt dan het uiteindelijke geprecompenseerde patroon bepaald.

Hiertoe wordt het minimum bepaald van de uitdrukking:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

10

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm en w_{kk} gedefinieerd is als:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

met a_{kk} de elementen van de matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$ en L de Laplace-operator.

De versmeringsfunctie als gevolg van forward scattering en backward scattering van de elektronen van de elektronenbundel kan op verschillende wijzen worden bepaald. Zij kan worden bepaald aan de hand van metingen van de impulsresponsie van de apparatuur voor het zenden van de elektronenbundel op een testobject. De versmeringsfunctie kan ook worden bepaald met behulp van diverse Monte Carlo technieken. In de eerstgenoemde bepalingwijze wordt rekening gehouden met alle fysische aspecten van de gebruikte apparatuur. In de later genoemde bepalingwijze wordt slechts een model van de werkelijkheid gebruikt, de bepaling is echter wel eenvoudiger uit te voeren zonder uitgebreide metingen te vergen.

Als benadering voor de op een van de boven beschreven wijzen bepaalde versmeringsfuncties zijn bij voorkeur Gaussische functies te gebruiken. De versmeringsfunctie wordt in dit geval bijvoorbeeld "gefit" met
5 een scattering fit model van een dubbele Gaussische functie (voor zowel forward als backward scattering eigenschappen van de elektronen), een driedubbele Gaussische functie of een dubbele Gaussische functie met een dalende exponentiële functie. De keuze van het scattering
10 fit model is afhankelijk van de afmetingen van de te onderscheiden onderdelen van het testobject (resolutie). Bij afmetingen kleiner dan 100 nm wordt de keuze hiervan kritisch; bij dergelijke kleine afmetingen hebben de driedubbele Gaussische functies of dubbele Gaussische
15 functies met dalende exponentiële functie de voorkeur. Een versmeringsfunctie met dubbele Gaussische functies is met 3 parameters te beschrijven, terwijl de overige twee genoemde scattering fit modellen met 4 parameters te beschrijven zijn, hetgeen een grote reductie in de hoeveelheid te verwerken gegevens impliceert.
20

In figuur 3 is een gewenst patroon van 256x256 patroonpunten weergegeven. Na versmering met een versmeringsfunctie in de vorm van een dubbele Gaussische functie met $\alpha = 50$ nm, $\beta = 3,45$ en $n = 1,36$ levert het versmeerde patroon van figuur 4. Duidelijk zichtbaar is, dat veel
25 detail in het patroon verloren is gegaan, hetgeen een beperking betekent van de te bereiken resolutie van het te vervaardigen patroon. Toepassing van de werkwijze volgens de uitvinding levert een optimale regularisatieparameter van $\lambda_{opt} = 0,07042$, hetgeen in figuur 5 is aangegeven, waarin bij deze waarde van λ de fout in het patroon minimaal is. Het met deze waarde van λ berekende geprecompenseerde patroon en het bijbehorende versmeerde patroon zijn weergegeven in respectievelijk figuren 6 en
30 7. Uit vergelijking van de resultaten van figuur 7 met die van figuur 3 blijkt, dat het precompensatie van het patroon een gewenst patroon een versmeerd patroon oplevert waarvan de resolutie sterk is verbeterd. Hiermee

zijn te onderscheiden onderdelen met afmetingen van minder dan 100 nm, bijvoorbeeld in een geïntegreerde schakeling, realiseerbaar. Een vergelijking van de resultaten van de hierin beschreven werkwijze met die van
 5 andere correctiemethoden is opgenomen in tabel 1. De foutmaat van de correctiemethoden is hier gedefinieerd als de sommatie van het verschil tussen de berekende blootstellingsdoses en de ideale geprecompenseerde blootstellingsdoses gedeeld door het aantal patroonpunten.

10

Correctiemethode	foutmaat in %
Ongecorrigeerd	10,2 %
Afkappen	12,2 %
Verschuiven en opschalen	12,2 %
15 Onderhavige methode	4,9 %

Uit het bovenstaande blijkt, dat de onderhavige methode van bepaling van een geprecompenseerd patroon in vergelijking tot de overige gangbare methoden veruit de klein-
 20 ste foutmaat oplevert.

Het geprecompenseerde patroon en het gewenste patroon worden vervolgens gebruikt als trainingsset of trainingspatronen voor een neurale netwerk. Een deel van een dergelijk netwerk is schematisch weergegeven in
 25 figuur 8 en wordt gerepresenteerd door de uitdrukking

$$a_i = \sum_{j=1}^9 w_{ij} h_{ij}(x)$$

dat wil zeggen dat dosis a_i uitgedrukt is in een verzameling van 9 basisfuncties h_{ij} , in dit geval radiële functies.

30 Na training van het neurale netwerk kan voor een ander willekeurig gewenst patroon op zeer snelle wijze een geprecompenseerd patroon worden bepaald. Een willekeurig patroon kan bijvoorbeeld een patroon van 512

bij 512 patroonpunten zijn die een deelpatroon van een geïntegreerde schakeling vormen. Verscheidene deelpatronen worden vervolgens gecombineerd (geclusterd) tot één patroon dat de gehele geïntegreerde schakeling of ten
5 minste een deel daarvan omvat.

Het boven beschreven neurale netwerk kan geïmplementeerd worden in hardware, en bij voorkeur in analoge hardware aangezien de rekensnelheid van op dergelijke wijze geïmplementeerde neurale netwerken zeer groot
10 is. Zo bedraagt de rekentijd voor precompensatie van een patroon minder dan 60 ns per patroonpunt. Precompensatie van patroon van een geïntegreerde schakeling van circa 10^{10} patroonpunten vergt in dit geval op de huidige personal computers derhalve slechts circa 10 minuten.

15 De uitvinding wordt voorts beschreven in het niet-voorgepubliceerde proefschrift met tekst "Proximity effects correction in electron beam nanolithography", waarvan de gehele inhoud als hierbij ingelast dient te worden beschouwd.

CONCLUSIES

1. Werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigd geprecompenseerd patroon van blootstellingsdoses van een elektronenbundel,
5 omvattende:

- het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;

- het met de versmeringsfunctie en het gewenst patroon bepalen van het geprecompenseerde patroon,
10 waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden bevatten en dat de blootstellingsdoses ten opzichte van elkaar ten minste in enige mate glad zijn.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, omvattende de
15 stappen:

a) het schatten van een regularisatie parameter;

b) het met alle patroonpunten van het gewenst patroon behalve een bepaald patroonpunt bepalen van een
20 geprecompenseerd patroon;

c) het met de versmeringsfunctie opnieuw versmeren van het geprecompenseerd patroon voor het voorstellen van de dosis van het bepaalde patroonpunt;

d) het voor elk patroonpunt herhalen van stappen
25 pen b en c;

e) het herhalen van stappen a tot en met d met aangepaste regularisatie parameter totdat een eindwaarde van een regularisatie parameter bereikt is;

f) het bepalen van het geprecompenseerde patroon met de eindwaarde van de regularisatie parameter.
30

3. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij stap b) de volgende iteratieve bepaling omvat:

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$

waarbij a een vector met als elementen de doses van het
gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses
5 van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunc-
tie in matrixvorm is, K^* de hermitisch geconjugeerde van
de versmeringsfunctie K is, B een operator, en λ een
regularisatieparameter.

4. Werkwijze volgens conclusie 3, waarbij de
10 operator B als volgt is gedefinieerd:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

waarin de sommatie plaatsvindt over alle patroonpunten, d_i
het i^e element van de vector d is, en d_{tot} de sommatie over
15 alle elementen van de vector d voorstelt.

5. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij in
stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de
regularisatie parameter is waarbij

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [K d_k(\lambda)]_k)^2$$

20

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector
met als elementen de doses van het gewenste patroon, d
een vector met de blootstellingsdoses van het geprecom-
penseerde patroon, en K de versmeringsfunctie in matrix-
25 vorm is.

6. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij in
stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de
regularisatie parameter is waarbij

30

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm en w_{kk} gedefinieerd is als:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

met a_{kk} de elementen van de matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$. en L de Laplace-operator, minimaal is.

7. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij na stap e) de stappen omvattende van het trainen van een neurale netwerk met behulp van één of meer gewenste eerste patronen en de daarbij behorende geprecompenseerde patronen.

8. Werkwijze volgens conclusie 7, waarbij met het getrainde neurale netwerk het geprecompenseerde patroon behorend bij een tweede gewenst patroon te bepalen is.

9. Werkwijze volgens conclusie 7 en 8, waarbij het eerste gewenste patroon een relatief eenvoudig trainingspatroon is en het tweede gewenste patroon het deelpatroon van een geïntegreerde schakeling is.

10. Werkwijze volgens conclusie 9, waarbij twee of meer deelpatronen tot een samengesteld patroon van de geïntegreerde schakeling te combineren zijn.

11. Werkwijze volgens een van de conclusies 7-10, waarbij het neurale netwerk een radiële basis functie netwerk is.

12. Werkwijze volgens een der conclusies 7-11, waarbij het neurale netwerk in hardware geïmplementeerd is.

13. Werkwijze volgens conclusie 12, waarbij het neurale netwerk in analoge hardware geïmplementeerd is.

14. Werkwijze volgens één van de voorgaande conclusies, waarbij de versmeringsfunctie ten minste is opgebouwd uit twee Gaussische functies.

15. Werkwijze volgens conclusie 14, waarbij aan de versmeringsfunctie een exponentiële functie is toegevoegd.

16. Werkwijze volgens conclusie 14 of 15, waarbij de parameters van de Gaussische functies bepaalbaar zijn met behulp van statistische simulaties.

10 17. Werkwijze volgens conclusie 14 of 15, waarbij de parameters van de Gaussische functies bepaalbaar zijn door metingen.

18. Werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende:

- het invoeren van een trainingspatroon en de daarbij behorende blootstellingsdoses in een neurale netwerk ter training daarvan;

20 - het bepalen van de weegfactoren van het neurale netwerk;

- het met het neurale netwerk bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond benodigde blootstellingsdoses.

25 19. Inrichting voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende elektronische schakelmiddelen voor het implementeren van een neurale netwerk met weegfactoren die bepaald zijn volgens een der
30 voorgaande conclusies.

20. Geïntegreerde schakelingen die zijn vervaardigd met de inrichting van conclusie 19 of volgens de werkwijze van een der conclusies 1-18.

UITTREKSEL

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigd geprecompenseerd patroon van 5 blootstellingsdoses van een elektronenbundel, omvattende:

- het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;

- het met de versmeringsfunctie en het gewenst patroon bepalen van het geprecompenseerde patroon,

10 waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden bevatten en dat de blootstellingsdoses ten opzichte van elkaar ten minste in enige mate glad zijn.

CLAIMS

1. Method for determining the precompensated pattern of exposure doses of an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising of:

5 - determining the smearing function of the electron beam;

 - determining the precompensated pattern with the smearing function and the desired pattern, wherein the determination is performed such that the exposure
10 doses contain almost exclusively positive values and that the exposure doses are at least to some extent smooth relative to each other.

2. Method as claimed in claim 1, comprising the steps of:

15 a) estimating a regularization parameter;

 b) determining a precompensated pattern with all pattern points of the desired pattern with the exception of a determined pattern point;

20 c) smearing the precompensated pattern again with the smearing function in order to predict the dose of the determined pattern point;

 d) repeating steps b and c for each pattern point;

25 e) repeating steps a to d with adapted regularization parameter until a final value of a regularization parameter is obtained;

 f) determining the precompensated pattern with the final value of the regularization parameter.

3. Method as claimed in claim 2, wherein step
30 b) comprises the following iterative definition:

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

with $d^{(0)} = 0$ and $r^{(0)} = a$

REPHASE by AKT34

wherein a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form, K^* is the Hermitian conjugate of the smearing function K , B is an operator and λ a regularization parameter.

4. Method as claimed in claim 3, wherein the operator B is defined as follows:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

10

in which the summation takes place over all pattern points, d_i is the i^{th} element of the vector d , and d_{tot} represents the summation over all elements of the vector d .

15 5. Method as claimed in claim 2, wherein the final value of the regularization parameter in step e) is the regularization parameter wherein

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd_k(\lambda)]_k)^2$$

wherein N is the total number of pattern points, a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern and K the smearing function in matrix form.

6. Method as claimed in claim 2, wherein the final value of the regularization parameter in step e) is the minimal regularization parameter wherein

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

wherein N is the total number of pattern points, a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form and w_{kk} is defined as:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

with a_{kk} the elements of the matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$ and L the Laplace operator.

7. Method as claimed in any of the foregoing claims, wherein after step e) the step is performed of training a neural network using one or more desired first patterns and the associated precompensated patterns.

8. Method as claimed in claim 7, wherein the precompensated pattern associated with a second desired pattern can be determined with the trained neural network.

9. Method as claimed in claims 7 and 8, wherein the first desired pattern is a relatively simple training pattern and the second desired pattern is the partial pattern of an integrated circuit.

10. Method as claimed in claim 9, wherein two or more partial patterns can be combined into a composite pattern of the integrated circuit.

11. Method as claimed in any of the claims 7-10, wherein the neural network is a radial base function network.

12. Method as claimed in any of the claims 7-11, wherein the neural network is implemented in hardware.

13. Method as claimed in claim 12, wherein the neural network is implemented in analog hardware.

14. Method as claimed in any of the foregoing claims, wherein the smearing function is made up of at least two Gaussian functions.

15. Method as claimed in claim 14, wherein an exponential function is added to the smearing function.

16. Method as claimed in claim 14 or 15, wherein the parameters of the Gaussian functions can be
5 determined using statistical simulations.

17. Method as claimed in claim 14 or 15, wherein the parameters of the Gaussian functions can be determined by measurements.

18. Method for determining the exposure dose of
10 an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising of:

- inputting a training pattern and the associated exposure doses into a neural network for
15 training thereof;

- determining the weighting factors of the neural network;

- determining with the neural network the exposure doses required to obtain a desired pattern in a
20 coating on a substrate.

19. Device for determining the exposure dose of an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising electronic circuit means for implementing a neural
25 network with weighting factors determined as claimed in any of the foregoing claims.

20. Integrated circuits manufactured with the device of claim 19 or according to the method of any of the claims 1-18.

PCTWORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION
International Bureau

INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification ⁶ : H01J 37/302	A1	(11) International Publication Number: WO 99/66530 (43) International Publication Date: 23 December 1999 (23.12.99)
(21) International Application Number: PCT/BE99/00076 (22) International Filing Date: 14 June 1999 (14.06.99) (30) Priority Data: 1009422 16 June 1998 (16.06.98) NL 1010311 13 October 1998 (13.10.98) NL (71)(72) Applicant and Inventor: VAN DYCK, Dirk, Ernst, Maria [BE/BE]; Kleine Grippe 37, B-2630 Aartselaar (BE). (72) Inventor; and (75) Inventor/Applicant (for US only): JEDRASIK, Piotr, Tomasz [BE/BE]; Universitair Centrum Antwerpen, Universiteit van Antwerpen, Dept. Natuurkunde, Groenerborgerlaan 171, B-2020 Antwerpen (BE). (74) Agent: LAND, Addick, Adrianus, Gosling; Arnold & Siedsma, 39, avenue de la Faisanderie, B-1150 Brussel (BE).		(81) Designated States: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). Published <i>With international search report.</i> <i>Before the expiration of the time limit for amending the</i> <i>claims and to be republished in the event of the receipt of</i> <i>amendments.</i> <i>In English translation (filed in Dutch).</i>
(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CORRECTING PROXIMITY EFFECTS		
(57) Abstract The present invention relates to a method for determining the precompensated pattern of exposure doses of an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising of: determining the smearing function of the electron beam; determining the precompensated pattern with the smearing function and the desired pattern, wherein the determination is performed such that the exposure doses contain almost exclusively positive values and the exposure doses are at least to some extent smooth relative to each other.		

FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AL	Albania	ES	Spain	LS	Lesotho	SI	Slovenia
AM	Armenia	FI	Finland	LT	Lithuania	SK	Slovakia
AT	Austria	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Senegal
AU	Australia	GA	Gabon	LV	Latvia	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaijan	GB	United Kingdom	MC	Monaco	TD	Chad
BA	Bosnia and Herzegovina	GE	Georgia	MD	Republic of Moldova	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tajikistan
BE	Belgium	GN	Guinea	MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Greece	ML	Mali	TR	Turkey
BG	Bulgaria	HU	Hungary	MN	Mongolia	TT	Trinidad and Tobago
BJ	Benin	IE	Ireland	MR	Mauritania	UA	Ukraine
BR	Brazil	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Iceland	MX	Mexico	US	United States of America
CA	Canada	IT	Italy	NE	Niger	UZ	Uzbekistan
CF	Central African Republic	JP	Japan	NL	Netherlands	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norway	YU	Yugoslavia
CH	Switzerland	KG	Kyrgyzstan	NZ	New Zealand	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Democratic People's Republic of Korea	PL	Poland		
CM	Cameroon	KR	Republic of Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kazakhstan	RO	Romania		
CU	Cuba	LC	Saint Lucia	RU	Russian Federation		
CZ	Czech Republic	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Germany	LK	Sri Lanka	SE	Sweden		
DK	Denmark	LR	Liberia	SG	Singapore		
EE	Estonia						

METHOD AND DEVICE FOR CORRECTING PROXIMITY EFFECTS

The present invention relates to a method and device for determining the exposure dose of an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating.

5 In the manufacture of the latest generations of integrated circuits use is preferably made of focused electron beams in lithographic processes instead of making use of the usual optical lithographic techniques, since these latter techniques are subject to limitations
10 in terms of resolution as a result of diffraction of the used laser light. The resolution of the integrated circuit obtained with such electron beam lithography is greater, although it is limited by scattering of the electrons in the coating. Methods are known for minimi-
15 zing scattering effects or compensating therefor in advance and thereby improving the resolution of the obtained integrated circuits.

The known methods have the drawback however that scattering effects can themselves only be minimized
20 to a limited degree, while advance compensation according to the known method requires many calculations and therefore needs a long calculation time. For the manufacture of integrated circuits for instance a very large number of pattern points, often in the order of magnitude of 10^{10}
25 pattern points, must be "written", while the number of calculations required for this purpose amounts to a multiple thereof. As a result a practically real time precompensation for the smearing or blurring effects cannot be implemented.

30 The object of the present invention is to obviate this drawback and also provide additional advantages.

The present invention therefore relates to a method for determining the precompensated pattern of
35 exposure doses of an electron beam required per pattern

position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising of:

- determining the smearing function (blur function) of the electron beam;
- 5 - determining the precompensated pattern with the smearing function and the desired pattern, wherein the determination is performed such that the exposure doses contain almost exclusively positive values and that the exposure doses are at least to some extent smooth
- 10 relative to each other.

Since a negative value for the exposure doses of an electron beam has no physical significance and cannot therefore be realized, the determination of the exposure doses of the precompensated pattern is performed

15 such that it assumes (almost) exclusively positive values. A smooth solution is furthermore obtained since strong oscillations in the smearing function have no physical basis but are caused solely by mathematical instability of the calculations.

20 In a preferred embodiment of the invention the method comprises the steps of:

- a) estimating a regularization parameter;
- b) determining a precompensated pattern with all pattern points of the desired pattern with the excep-
- 25 tion of a determined pattern point;
- c) smearing the precompensated pattern again with the smearing function in order to predict the dose of the determined pattern point;
- d) repeating steps b and c for each pattern
- 30 point;
- e) repeating steps a to d with adapted regularization parameter until a final value of a regularization parameter is obtained;
- f) determining the precompensated pattern with
- 35 the final value of the regularization parameter.

According to a further embodiment of the invention step b) comprises the following iterative definition:

with $d^{(0)} = 0$ and $r^{(0)} = a$

in which a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form, K^* is the Hermitian conjugate of the smearing function K , B is an operator and λ a regularization parameter.

According to a further embodiment of the invention operator B is defined as follows:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

in which the summation takes place over all pattern points, d_i is the i^{th} element of the vector d , and d_{tot} represents the summation over all elements of the vector d .

According to a further embodiment of the invention the final value of the regularization parameter in the above mentioned step e) is the regularization parameter wherein

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd_k(\lambda)]_k)^2$$

in which N is the total number of pattern points, a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern and K the smearing function in matrix form.

According to a further embodiment of the invention the final value of the regularization parameter in step e) is the minimal regularization parameter wherein

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

in which N is the total number of pattern points, a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form and w_{kk} is defined as:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

with a_{kk} the elements of the matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$ and L the discrete Laplace transformation.

According to a further embodiment of the invention after step e) the step is performed of training a neural network using one or more desired first patterns and the associated precompensated patterns.

According to a further embodiment of the invention the precompensated pattern associated with a second desired pattern can be determined with the trained neural network, wherein in a further embodiment the first desired pattern is a relatively simple training pattern and the second desired pattern is the partial pattern of an integrated circuit, and wherein in a further embodiment two or more partial patterns can be combined into a composite pattern of the integrated circuit.

By determining the associated precompensated pattern of exposure doses for a known desired pattern, which is preferably simple, and then establishing the relation between the weighting factors of a neural network, is ensured that for a second desired pattern, which may be complicated, obtaining the relation between this pattern and the associated exposure doses is determined in very efficient and rapid manner by the neural network. The first pattern is generally a relatively simple training pattern, while the second

pattern is for instance the pattern of a very complicated integrated circuit.

In a preferred embodiment of the invention the above stated neural network is implemented in hardware, 5 whereby determining of the relation between a pattern and the exposure dose associated therewith is performed in more rapid manner, for instance within 60 ns for each pattern point and within 10 minutes for a pattern of 10^{10} .

According to a preferred embodiment of the 10 invention the smearing function is made up of at least two Gaussian functions, to which an exponential function is optionally added. Parameters of the Gaussian functions and optionally the exponential function can be determined by means of statistical simulation of the system of 15 electron beam transmitting equipment and the relevant coating and substrate of the integrated circuit for manufacture.

In another embodiment of the invention parameters are determined by performing measurements on 20 the system of electron beam transmitting equipment and the relevant coating with substrate.

The present invention also relates to a device for determining the exposure dose of an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern 25 in a coating on a substrate, comprising an electronic circuit for implementing said neural network with weighting factors determined in the above stated manner.

The invention will be elucidated hereinbelow with reference to a preferred embodiment thereof, wherein 30 use will be made of the annexed drawings, in which:

- figure 1 shows a schematic overview of a preferred embodiment of a device according to the invention;

- figures 2a-2c show a schematic overview of 35 the determination of a precompensated pattern of 3x3 pattern points;

- figure 3 shows a desired training pattern of 256x256 pattern points;

- figure 4 shows the training pattern of figure 3 after smearing;

- figure 5 shows a graph in which for the training pattern of figure 3 the prediction error is plotted as a function of the chosen regularization parameter;

- figure 6 shows the training pattern of figure 3 after precompensation;

- figure 7 shows the precompensated pattern of figure 6 after smearing; and

- figure 8 is a schematic representation of a neural network for determining precompensated patterns.

In an arrangement of equipment for transmitting an electron beam and a substrate 1 with coating 2 for processing, a beam of electrons 3 is directed at a position or pattern point of a coating 2 on a substrate 1. The interaction of the incident electron beam 3 with the coating or resist film 2 and the underlayer or substrate 1 results in a scattering of the electrons in coating 2 which causes smearing or proximity effects. When for instance a primary electron penetrates into the coating, a part of its energy is transferred to electrons of the atoms of the coating, which causes ionization or excitation thereof. A collision between electrons with a large transfer of energy generates a secondary electron which generally has a direction of movement perpendicular to that of a primary electron.

Smearing effects in electron beam lithography relate more generally to the process whereby the resolution of the exposed pattern is reduced by primary electron scattering (forward scattering) and secondary electron excitation (backward scattering) in the coating and the substrate of an integrated circuit for manufacture. Sharp features such as angles in the desired pattern are rounded, line thicknesses and interspaces are modified and in particular extreme cases some features even disappear completely or are merged in incorrect manner with adjacent features.

The smearing effects or proximity effects can be described by a smearing function, which shows the relation between on the one hand the exposure doses of a determined pattern point of a pattern for manufacturing
5 in the coating and on the other the doses actually absorbed by this pattern point and adjacent pattern points. The effect of the smearing is thus established in the smearing function.

Assuming that exposure and smearing are
10 linearly and spatially invariant and that for a numeric solution a discrete representation is preferred, the above can be expressed in matrix form as follows: $A = KD$, in which A is a column vector of which each element a_i is the total energy dose which is actually absorbed in the
15 associated pattern point, K is a smearing matrix of which each mn^{th} element is the portion of the energy dose which is absorbed in pattern point m from a unit-exposure dose supplied to pattern point n , and D is a column vector made up of elements d_i which represent the exposure doses
20 generated per pattern point by the electron beam equipment. Since the smearing effect is unavoidable, it is best to adapt the exposure doses d_i of the different pattern points such that the dose a_i actually absorbed in a pattern point is such that the desired pattern is still
25 obtained.

This so-called precompensation of the exposure dose of the electron beam can be performed according to the prior art by determining the inverse of the smearing matrix K . There are many ways of generally inverting a
30 matrix. However, these methods often take no account of physical limitations, such as in this case for instance those of the electron beam transmitters. No negative exposure doses for instance are thus possible. A further drawback of such inversion methods is that the inverted
35 matrix has many oscillations. In addition, for inversion of the smearing matrix for a partial pattern of for instance 256×256 pattern points the inversion of a smearing matrix with dimensions of 65536×65536 has to be

calculated, which requires an enormous amount of calculating time.

Figures 2a to 2c show a desired pattern (A). The pattern is built up of 9 pattern points a_i wherein i varies from 1 to 9. This desired pattern must be precompensated in order to be able to provide the desired pattern after exposure to the smearing electron beam, i.e. the values of d_i , with i varying from 1 to 9, have to be determined.

10 The precompensated pattern is first of all determined making use of the doses a_i with i from 2 to 9, wherein pattern point 1 is not therefore taken into account (figure 2a). This precompensated pattern is determined on the basis of the following expression:

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

15 with $d^{(0)} = 0$ and $r^{(0)} = a$,

wherein a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form, K^* is the Hermitian conjugate of smearing function K , B is an operator and λ a regularization parameter. The value of the regularization parameter can be chosen at random, in this case for instance $\lambda = 0$.

25 The operator B imposes a limitation and can be defined as follows:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

in which the summation takes place over all pattern points, d_i is the i^{th} element of the vector d , and d_{tot} represents the summation over all elements of the vector d .

The thus determined precompensated pattern is then smeared once again on the basis of the known

smearing function, whereby the predicted dose Kd of pattern point 1 is determined.

The above procedure is then repeated successively (figures 2b and 2c) for the second to ninth pattern point ($i=2, \dots, 9$), wherein all pattern points with the exception of one pattern point are used each time.

On the basis of the above results, the least squares prediction error over all pattern points is determined, which will be further explained later.

10 The above procedure is subsequently repeated with different values for the regularization parameter λ , for instance $\lambda_2 = 0.001$, $\lambda = 0.002$ etc. The regularization parameter is eventually chosen wherein the least squares prediction error over all pattern points is minimal. This
15 regularization parameter is then chosen as the optimal regularization parameter λ_{opt} . The final precompensated pattern is then determined on the basis of this optimal regularization parameter λ_{opt} .

For this purpose the minimum is determined of
20 the expression:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

in which N is the total number of pattern points, a is a vector with the doses of the desired pattern as elements,
25 d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form and w_{kk} is defined as:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

with a_{kk} the elements of the matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$ and L the Laplace operator.

30 The smearing function resulting from forward scattering and backward scattering of the electrons of

the electron beam can be determined in different ways. It can be determined on the basis of measurements of the impulse response of the equipment for transmitting the electron beam on a test object. The smearing function can also be determined using diverse Monte Carlo techniques. In the first method of determination all physical aspects of the equipment used are taken into account. In the latter mentioned method of determination only a model of the reality is used, although the determination is however easier to perform without requiring extensive measurements.

Gaussian functions are preferably used as approximation for the smearing functions determined in any of the above described methods. The smearing function is in this case "fitted" for instance with a scattering fit model of a double Gaussian function (for both forward and backward scattering properties of the electrons), a triple Gaussian function or a double Gaussian function with a decreasing exponential function. The choice of the scattering fit model depends on the dimensions of the components to be distinguished in the test object (resolution). At dimensions smaller than 100 nm the choice hereof becomes critical: at such small dimensions the triple Gaussian functions or double Gaussian functions with decreasing exponential function are recommended. A smearing function with double Gaussian function can be described with 3 parameters, while the other two stated scattering fit models can be described with 4 parameters, which implies a great reduction in the quantity of data for processing.

Figure 3 shows a desired pattern of 256x256 pattern points. Smearing with a smearing function in the form of a double Gaussian function with $\alpha = 50$ nm, $\beta = 3.45$ and $n = 1.36$ produces the smeared pattern of figure 4. It is clearly visible that much detail in the pattern has been lost, which means a limitation in the resolution to be obtained of the pattern for manufacture. Application of the method according to the invention produces an

optimal regularization parameter of $\lambda_{\text{opt}} = 0.07042$, which is shown in figure 5, in which the error in the pattern is minimal at this value of λ . The precompensated pattern calculated with this value of λ and the associated smeared pattern are shown respectively in figures 6 and 7. Comparison of the results of figure 7 with those of figure 3 shows that the precompensation of the pattern with a desired pattern produces a smeared pattern with a greatly improved resolution. Components for distinguishing with dimensions of less than 100 nm, for instance in an integrated circuit, can hereby be realized. A comparison of the results of the method described herein with those of other correction methods is shown in table 1. The degree of error of the correction methods is defined here as the summation of the difference between the calculated exposure doses and the ideal precompensated exposure doses divided by the number of pattern points.

20	Correction method	degree of error in %
	Uncorrected	10.2' %
	Truncating	10.2 %
	Shifting and scaling	12.2 %
	Present method	4.9 %

25 From the above can be seen that the present method of determining a precompensated pattern produces by far the smallest degree of error compared to the other usual methods.

30 The precompensated pattern and the desired pattern are subsequently used as training set or training patterns for a neural network. A part of such a network is shown schematically in figure 8 en is represented by the expression

$$a_i = \sum_{j=1}^9 w_{ij} h_{ij}(x)$$

i.e. the dose a_i is expressed in a set of 9 basic functions h_{ij} , in this case radial functions.

After training of the neural network a
5 precompensated pattern can be determined for another random desired pattern in very rapid manner. A random pattern can for instance be a pattern of 512 by 512 pattern points forming a partial pattern of an integrated circuit. Various partial patterns can then be combined
10 (clustered) to form one pattern which comprises the whole integrated circuit or at least a part thereof.

The above described neural network can be implemented in hardware, and preferably in analog hardware since the calculating speed of neural networks
15 implemented in this manner is very great. The calculating time for precompensation of a pattern thus amounts to less than 60 ns per pattern point. Precompensation of a pattern of an integrated circuit of about 10^{10} pattern points requires in this case only about 10 minutes on
20 present personal computers.

The invention is further described in the non-prepublished doctoral thesis with the title "Proximity effects correction in electron beam nanolithography", the entire content of which should be deemed as interpolated
25 herein.

CLAIMS

1. Method for determining the precompensated pattern of exposure doses of an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising of:

- 5 - determining the smearing function of the electron beam;
- determining the precompensated pattern with the smearing function and the desired pattern, wherein the determination is performed such that the exposure
- 10 doses contain almost exclusively positive values and that the exposure doses are at least to some extent smooth relative to each other.

2. Method as claimed in claim 1, comprising the steps of:

- 15 a) estimating a regularization parameter;
- b) determining a precompensated pattern with all pattern points of the desired pattern with the exception of a determined pattern point;
- c) smearing the precompensated pattern again
- 20 with the smearing function in order to predict the dose of the determined pattern point;
- d) repeating steps b and c for each pattern point;
- e) repeating steps a to d with adapted
- 25 regularization parameter until a final value of a regularization parameter is obtained;
- f) determining the precompensated pattern with the final value of the regularization parameter.

3. Method as claimed in claim 2, wherein step

30 b) comprises the following iterative definition:

$$d^{(l)} = d^{(l-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(l-1)} \quad r^{(l)} = a - K d^{(l)}$$

with $d^{(0)} = 0$ and $r^{(0)} = a$

wherein a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form, K^* is the Hermitian conjugate of the smearing function K , B is an operator and λ a regularization parameter.

4. Method as claimed in claim 3, wherein the operator B is defined as follows:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

10

in which the summation takes place over all pattern points, d_i is the i^{th} element of the vector d , and d_{tot} represents the summation over all elements of the vector d .

15

5. Method as claimed in claim 2, wherein the final value of the regularization parameter in step e) is the regularization parameter wherein

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd_k(\lambda)]_k)^2$$

wherein N is the total number of pattern points, a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern and K the smearing function in matrix form.

6. Method as claimed in claim 2, wherein the final value of the regularization parameter in step e) is the minimal regularization parameter wherein

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

wherein N is the total number of pattern points, a is a vector with the doses of the desired pattern as elements, d is a vector with the exposure doses of the precompensated pattern, K is the smearing function in matrix form and w_{kk} is defined as:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

with a_{kk} the elements of the matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$ and L the Laplace operator.

7. Method as claimed in any of the foregoing claims, wherein after step e) the step is performed of training a neural network using one or more desired first patterns and the associated precompensated patterns.

8. Method as claimed in claim 7, wherein the precompensated pattern associated with a second desired pattern can be determined with the trained neural network.

9. Method as claimed in claims 7 and 8, wherein the first desired pattern is a relatively simple training pattern and the second desired pattern is the partial pattern of an integrated circuit.

10. Method as claimed in claim 9, wherein two or more partial patterns can be combined into a composite pattern of the integrated circuit.

11. Method as claimed in any of the claims 7-10, wherein the neural network is a radial base function network.

12. Method as claimed in any of the claims 7-11, wherein the neural network is implemented in hardware.

13. Method as claimed in claim 12, wherein the neural network is implemented in analog hardware.

14. Method as claimed in any of the foregoing claims, wherein the smearing function is made up of at least two Gaussian functions.

15. Method as claimed in claim 14, wherein an exponential function is added to the smearing function.

16. Method as claimed in claim 14 or 15, wherein the parameters of the Gaussian functions can be
5 determined using statistical simulations.

17. Method as claimed in claim 14 or 15, wherein the parameters of the Gaussian functions can be determined by measurements.

18. Method for determining the exposure dose of
10 an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising of:

- inputting a training pattern and the associated exposure doses into a neural network for
15 training thereof;

- determining the weighting factors of the neural network;

- determining with the neural network the exposure doses required to obtain a desired pattern in a
20 coating on a substrate.

19. Device for determining the exposure dose of an electron beam required per pattern position to obtain a desired pattern in a coating on a substrate, comprising electronic circuit means for implementing a neural
25 network with weighting factors determined as claimed in any of the foregoing claims.

20. Integrated circuits manufactured with the device of claim 19 or according to the method of any of the claims 1-18.

1/4

FIG. 1

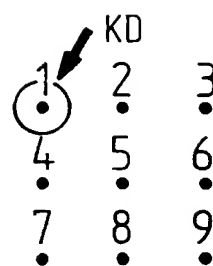
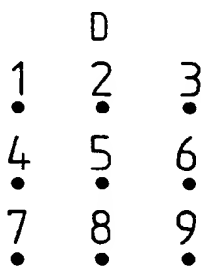
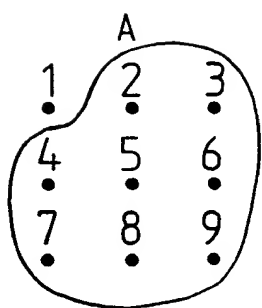
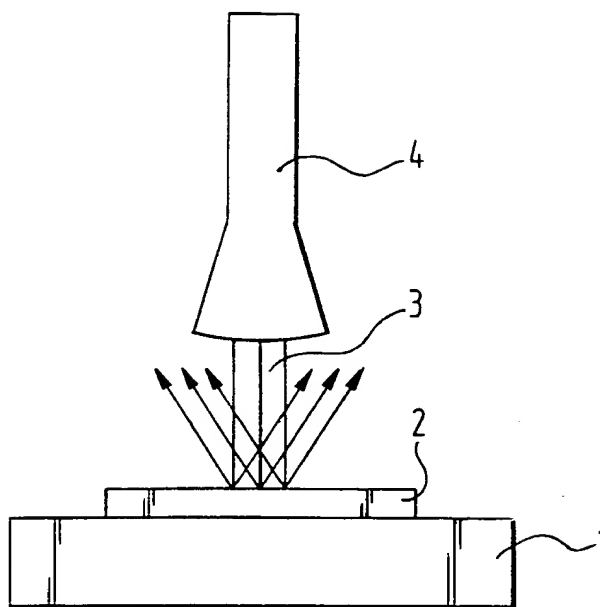


FIG. 2a

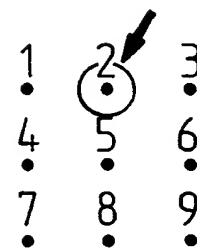
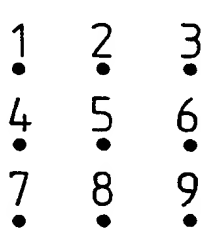
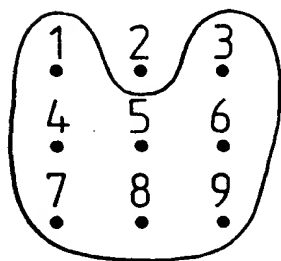


FIG. 2b

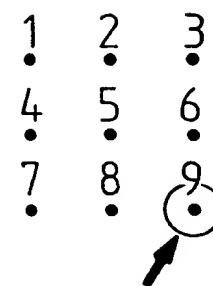
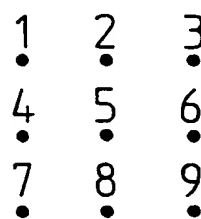
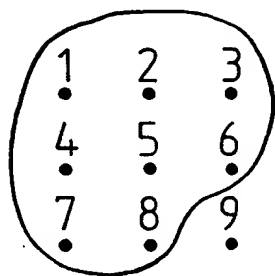


FIG. 2c

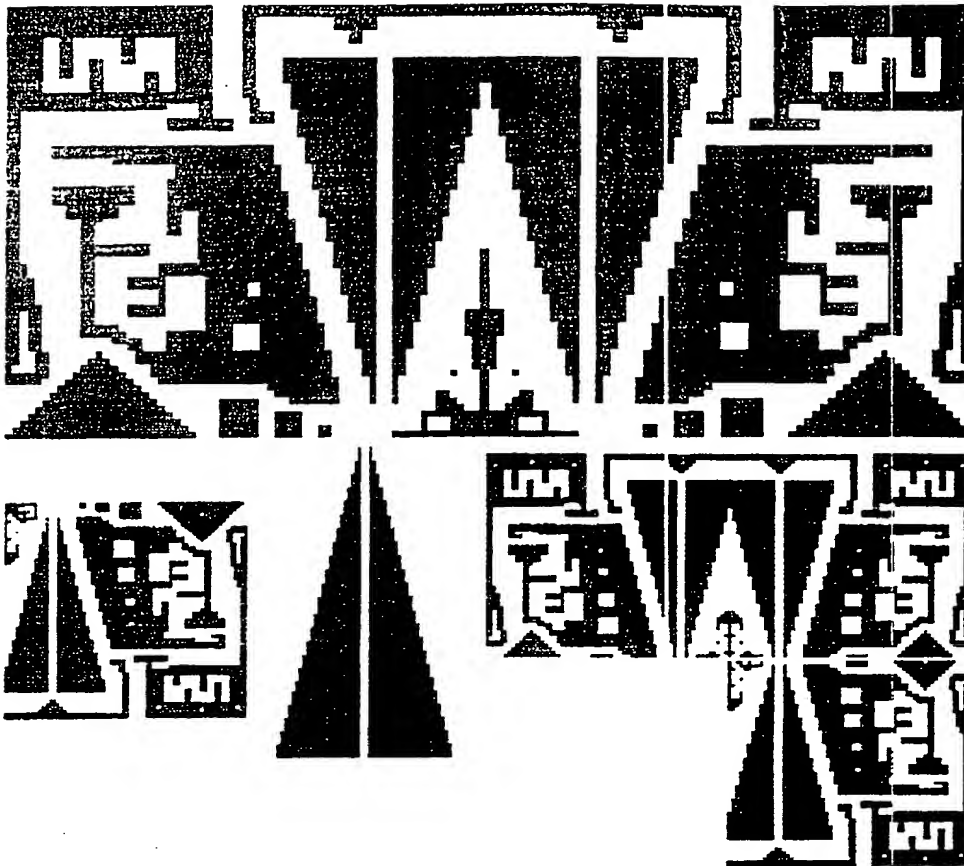


FIG. 3

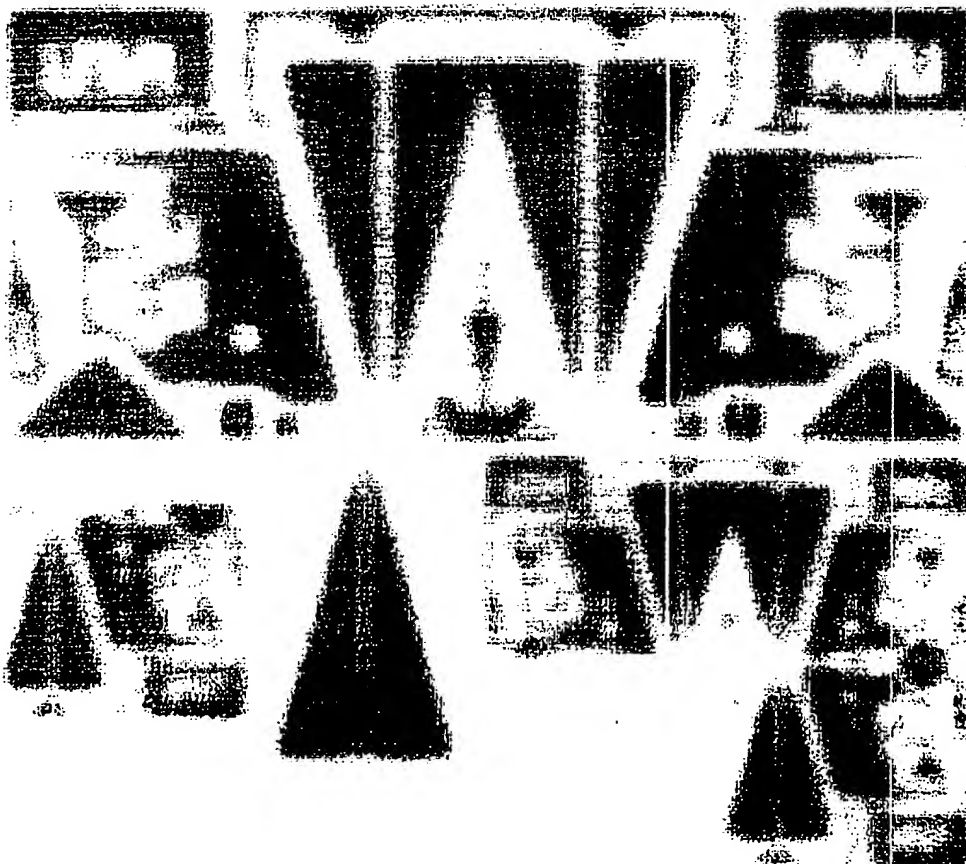
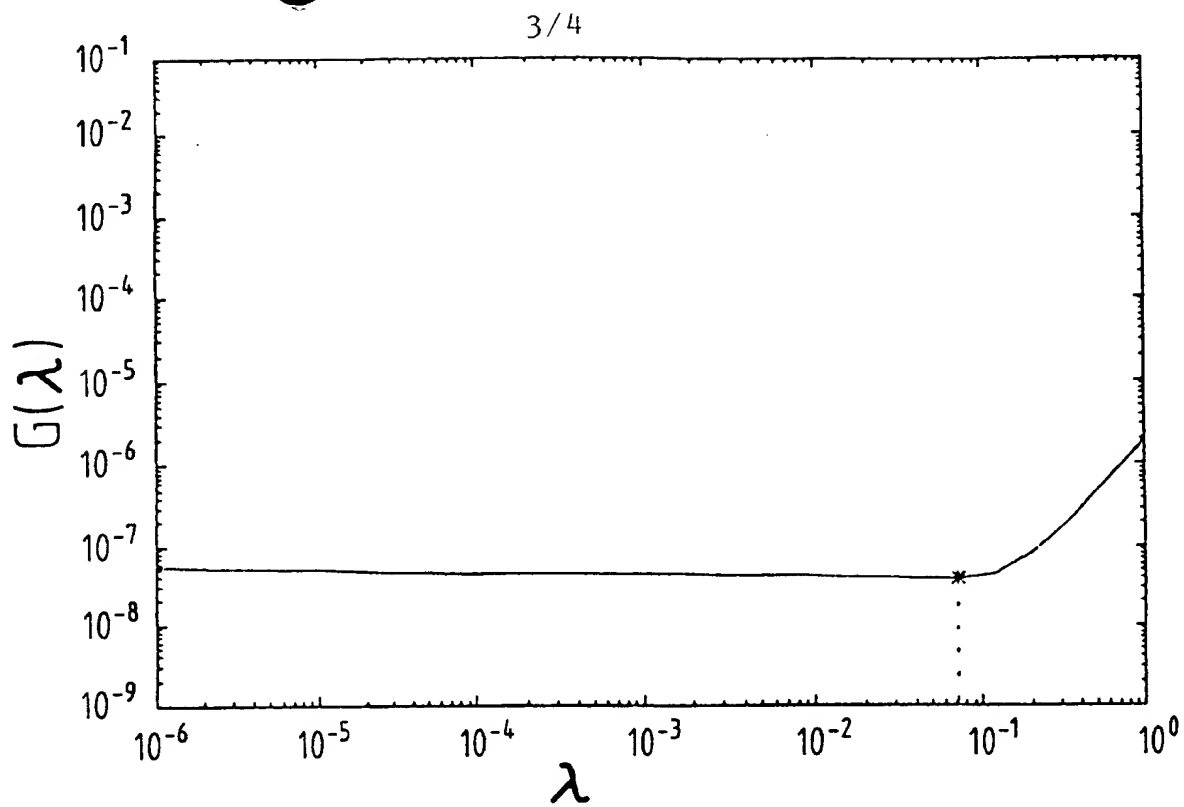
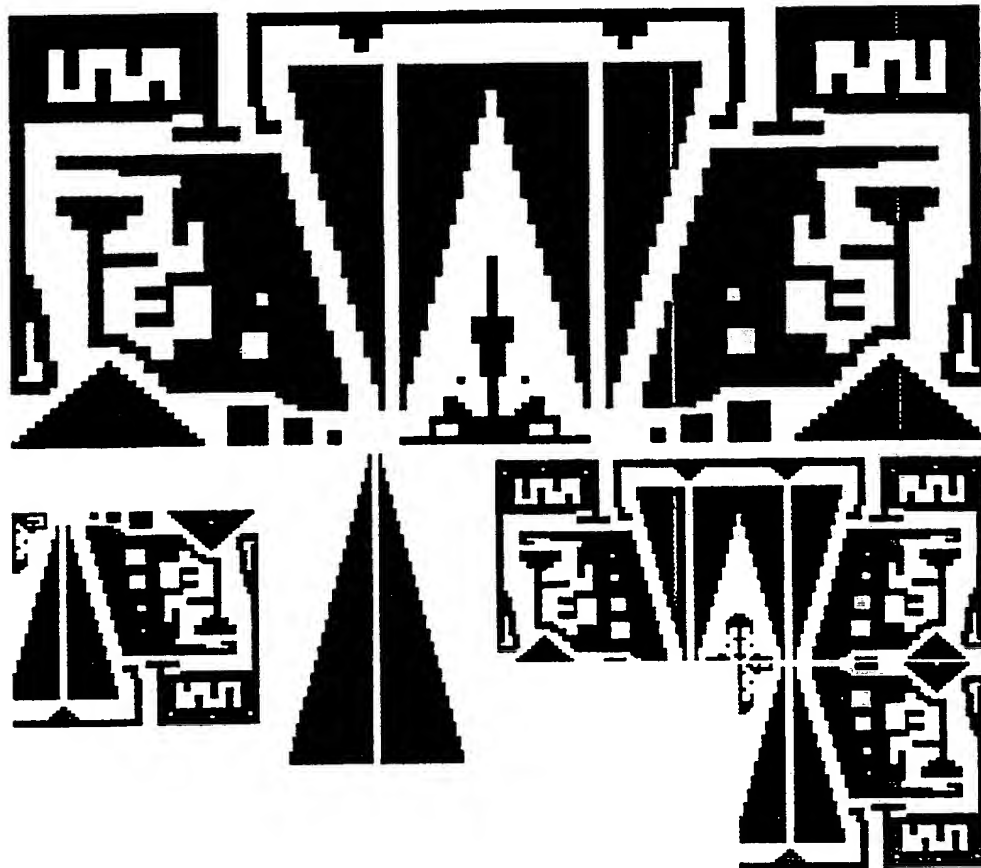
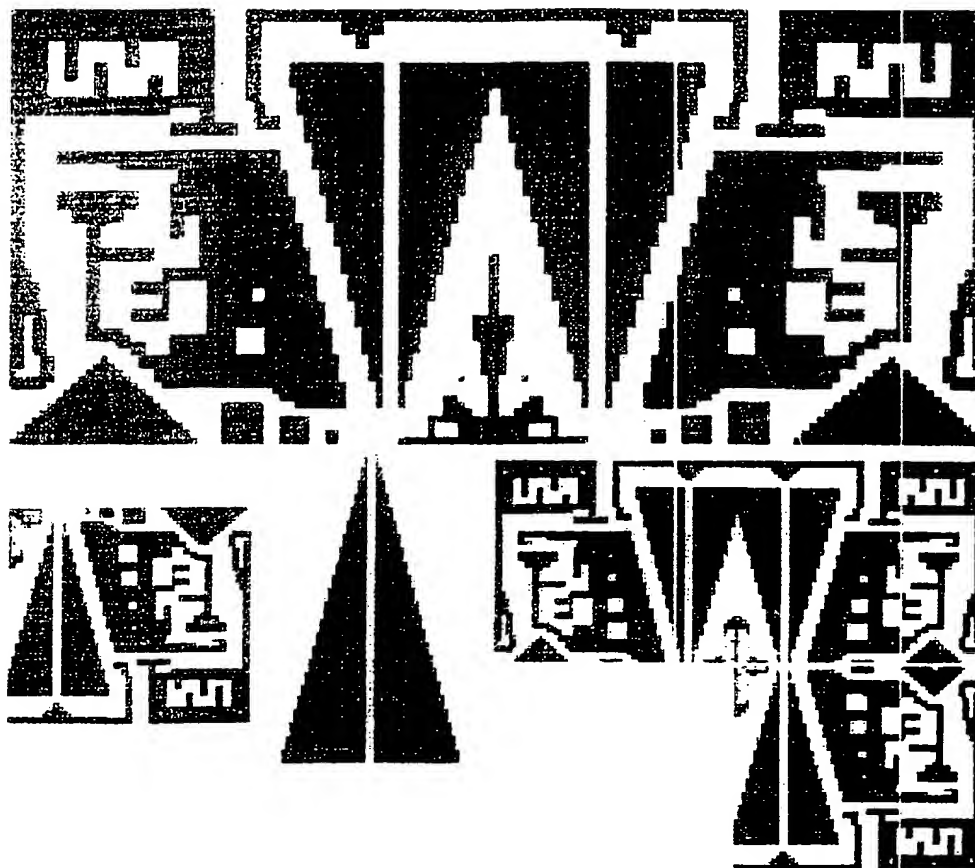
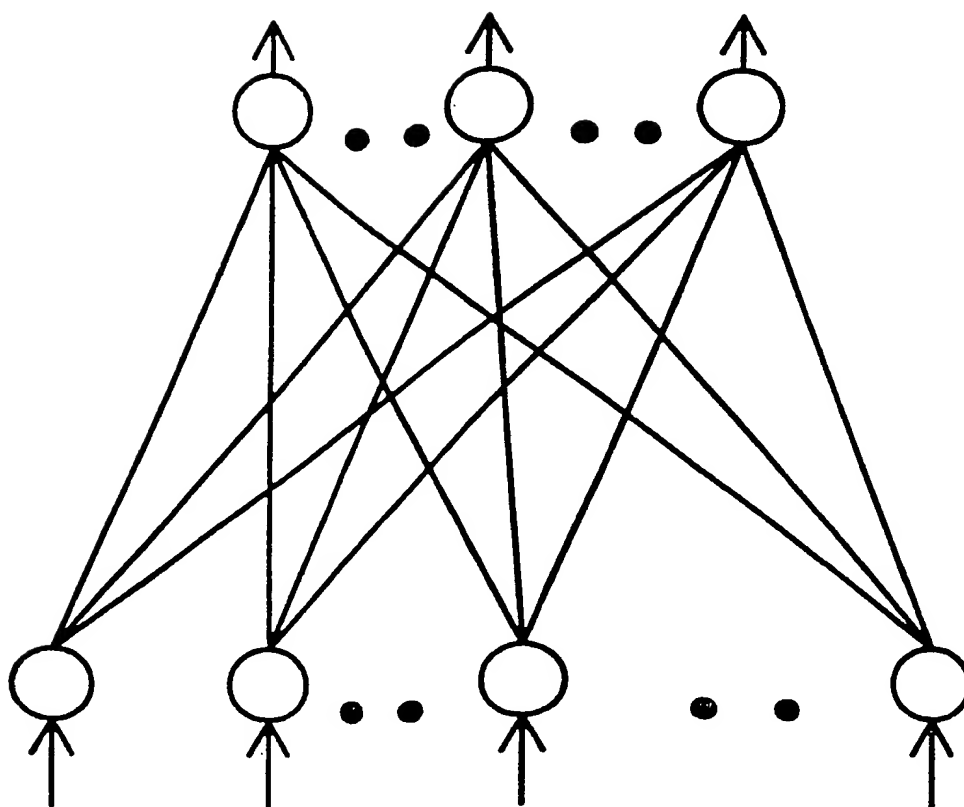


FIG. 4

FIG. 5FIG. 6

FIG. 7FIG. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/BE 99/00076

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01J37/302

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JEDRASIK P ET AL: "Optimal filtering versus regularization methods in the Fourier precompensation based proximity neurocorrection in electron beam lithography" MICRO- AND NANO- ENGINEERING 97. MNE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO- AND NANOFABRICATION, ATHENS, GREECE, 15-18 SEPT. 1997, vol. 41-42, pages 195-198, XP004111700 ISSN 0167-9317, Microelectronic Engineering, March 1998, Elsevier, Netherlands	1, 2, 7, 19
X	page 195, right-hand column, line 1 -page 196, right-hand column, line 4 page 197, left-hand column, paragraph 2 -page 198, right-hand column, last line --- -/--	18

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 October 1999

Date of mailing of the international search report

14/10/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5816 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/BE 99/00076

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>JEDRASIK P: "Neural networks application for fast, direct correction kernel generation for proximity effects correction in electron beam lithography" MICRO- AND NANOENGINEERING 94. INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO- AND NANOFABRICATION, DAVOS, SWITZERLAND, 26-29 SEPT. 1994, vol. 27, no. 1-4, pages 191-194, XP004025063 ISSN 0167-9317, Microelectronic Engineering, Feb. 1995, Netherlands the whole document</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1,18
A	<p>EP 0 443 249 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 28 August 1991 (1991-08-28) the whole document</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1,18
A	<p>FRYE R C: "ADAPTIVE NEURAL NETWORK ALGORITHMS FOR COMPUTING PROXIMITY EFFECT CORRECTIONS" JOURNAL OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY: PART B, vol. 9, no. 6, 1 November 1991 (1991-11-01), pages 3054-3058, XP000268519 the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/BE 99/00076

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0443249 A	28-08-1991	DE 69030078 D	10-04-1997
		DE 69030078 T	07-08-1997
		JP 6097057 A	08-04-1994
		US 5283746 A	01-02-1994
<hr/>			